المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
كلية العلوم التطبيقية
قسم الفيزياء

كتاب

الدوائر الكهربائية وتجاربها

إعداد

سعود بن حميد اللحياني

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين محمد بن عبدالله عليه وعلى آله أفضل صلاة وأتم تسليم.

أن هذا البحث الذي أقدمه بين يدي القارئ أنما هو مقدمة للأساسيات والقوانين الكهربائية البسيطة التي تستخدم في تحليل الدوائر الكهربائية.

ويهدف هذا البحث إلى تعريف الكميات والعناصر الكهربائية الأساسية وكيفية تحليل دوائر كهربائية مستخدماً بعض طرق التحليل البسيطة وكذلك كيفية قياس هذه الكميات علمياً وكذلك يهدف المقرر إلى تعريف بعض العناصر الإلكترونية البسيطة وإجراء بعض القياسات عليها عملياً.

ويقسم هذا البحث إلى خمسة أبواب على النحو التالي:

- الباب الأول:

وهو عبارة عن فصلين هي:

الفصل الأول: تعريف الكميات والعناصر الكهربائية.

الفصل الثاني: قانون أوم.

- الباب الثاني: توصيل المقاومات وقوانين الدائرة.
- الباب الثالث: السعة الكهربائية والمتسعات.
- الباب الرابع: طرق التحليل.
- الباب الخامس: التجارب المعملية.

وأتمنى من المولى عز وجل أن أكون وفقت في تقديم ما يفيد:

الفهرس

الموضوع	الصفحة
المقدمة ----------------------------------	١
الباب الأول:-----------------------------------	٧
الفصل الأول: تعريف الكميات والعناصر الكهربائية --------	٧
١-١ الكميات الكهربائية ووحدات (SI) ---------------	٨
١-٢ القوة والشغل والقدرة------------------------	١٠
١-٣ الشحنة الكهربائية--------------------------	١١
١-٤ الجسم المشحون--------------------------	١٣
١-٥ الجهد الكهربائي --------------------------	١٥
١-٦ فرق الجهد والجهد الكهربائي ----------------	١٦
١-٧ الجهد الكهربائي الناتج عن شحنة تغطية ---------	١٨
١-٨ التيار الكهربائي والمقاومة --------------------	١٩
١-٨-١ التيار الكهربائي -----------------------	٢٠
١-٨-٢ المقاومة ------------------------	٢٠
١-٩ علاقات الجهد والتيار ----------------------	٢١
الفصل الثاني: قانون أوم ----------------------	٢٣
١-١٠ قانون أوم ----------------------------	٢٣
١-١١ الطاقة الكهربائية والقدرة-------------------	٢٣
١-١٢ دوائر التيار المستمر المحتوية على مقاومات ------	٢٥
١-١٣ الدارة الكهربائية البسيطة ----------------	٢٦

الباب الأول

الفصل الأول: تعريف الكميات والعناصر الكهربائية

الفصل الأول

تعريفات الكميات والعناصر الكهربائية

١ - ١ الكميات الكهربية ووحدات (SI):

تستخدم وحدات النظام الدولي (SI) خلال هذا الكتاب والجدول ١ - ١ يوضح أربعة من الكميات الأساسية ووحدات النظام الدولي المتري (SI) المناظرة لها والكميات والوحدات الرئيسية الثلاثة الأخرى ووحدات (SI) المناظرة لها والغير موجودة في الجدول هي درجة الحرارة بدرجات كلفن (K) وكمية المادة بالمُل (Mol) وشدة الاستضاءة بالكاندل (cd).

جدول ١ - ١

الكمية	الرمز العام	الوحدة SI	الرمز الدال على الوحدة
الطول	L. l	مستر	M
الكتلة	M. m	كيلو جرام	Kg
الزمن	T. t	ثانية	S
التيار	I. i	أمبير	A

وتستنتج الوحدات الأخرى من الوحدات الأساسية السبعة. والكميات الكهربية ورموزها والمستخدمة عادة في تحليل الدوائر الكهربية موضحة بالجدول ٢ - ١.

الكمية	الرمز العام	الوحدة SI	الرمز الدال على الوحدة
الشحنة الكهربية الجهد الكهربي المقاومة التوصيلية الحث السعة التردد القوة الطائفة، الشغل القدرة الفيض المغناطيسي كثافة الفيض المغناطيسي	Q. q V. v R G L C f F. f W. w P. p Φ	كلوم فولت أوم سيمنز هنري فاراد هيرتز نيوتن جول وات ويبر تسلا	C V Ω S H F Hz N J W Wb

الكمية	الرمز العام	الوحدة SI	الرمز الدال على الوحدة
	B		T

وتوجد كميتان إضافيتان هما الزاوية المستوية (ويطلق عليها اسم زاوية الوجه عند تحليل الدوائر الكهربية) والزاوية المجسمة ووحدات (SI) المناظرة لها هما راديان (rad) وستراديان (sr).

وغالباً تستخدم الدرجات للتعبير عن زوايات الوجه في الدوال الجيبية مثل $(\sin \omega t + 30^{o})$ حيث تكون ωt بالراديان وفي هذه الحالة تكون الوحدات مركبة.

ويستخدم المضروب أو المقسوم العشري لوحدات SI كلما كان ممكناً والرموز المستخدمة في جدول ٣-١ هي قيم المضروب الذي يسبق رموز الوحدات في جدول ١-١، جدول ٢-١ ومثال ذلك mV تستخدم للملي فولت 10^{-3}V كما يستخدم MW للقيمة 10^{-6}W.

جدول ٣-١

معامل التصغير أو التكبير	قيمة المعامل	الرمز
بيكو	10^{-12}	P
نانو	10^{-9}	N
ميكرو	10^{-6}	M
مللي	10^{-3}	M
سنتي	10^{-2}	C
كيلو	10^{3}	K

معامل التصغير أو التكبير	قيمة المعامل	الرمز
ميجا	10^{6}	M
جيجا	10^{9}	G
تيرا	10^{12}	T

١ - ٢ القوة والشغل والقدرة:

تتبع الوحدات المستنتجة العلاقات الرياضية التي تحكم الكميات الخاصة بها فمن العلاقة "القوة تساوي الكتلة مضروباً في العجلة". نجد أن الرمز (N) نيوتن يعرف بالقوة الغير متزنة التي تنتج عجلة مقدرة بواحدة متر لكل مربع الثانية لكتلة قيمتها واحدة كيلو جرام وبالتالي تكون العلاقة:

$$I\ N = I\ kg.\ m/s^2$$

ويكون الشغل ناشئاً من استخدام القوة لمسافة. ووحدة الشغل وهي "الجول تكون مكافئة نيوتن متر أي أن $I\ J = I\ N.\ m$. والشغل والطاقة لها نفس الوحدات.

والقدرة هي فعول الشغل أو المعدل الذي تتغير فيه الطاقة من شكل لآخر ووحدة القدرة هي "الوات" (W) وهي جول لكل ثانية (J/s).

تعريف الكميات والعنصر الكهربائية:

١ - ٣ الشحنة الكهربائية:

اكتشف الإغريق من أكثر من ٦٠٠ سنة أنه عند دلك المطاط القاسي بالصوف يصبح قادر على جذب الأجسام الأخرى إليه. وهذا ما ندعوه في وقتنا الحاضر في مشاهدات كثيرة من حياتنا اليومية، فمثلاً يكتسب المشط هذه الخاصية عند استعماله في شعر جاف. وللكشف عن أثر الشحنات

الكهربائية تستخدم عادة قطعة من المطاط القاسي وقطعة من الصوف. حيث يمكن شحن قطعة من المطاط بدلكها بقطعة الصوف، وعند تلامسها مع كرتين صغيرة من الفلين معلقتين بخيطيين خفيفين كما هي في الشكل (١ - ١) يلاحظ ابتعاد الكرتين عن مصر الشحن وكذلك تنافرهما معا، وحيث أن لشحنتيهما نفس المصدر لذلك يفترض أن تكون شحنتاهما متماثلتين، أي من نفس النوع.



(أ) (ب)

قبل شحنهما بعد شحنهما

الشكل (١ - ١): يبين الشكل قوة التنافر بين شحنتين متشابهتين.

وإذا استعضنا عن قطعة المطاط المدلوك بالصوف بقطعة من الزجاج المدلوك بالحرير، فإننا سنلاحظ نفس النتائج السابقة، مما يدل على أن شحنتي الكرتين المعلقتين متماثلتين من حيث النوع في هذه الحال أيضاً.

ولكن لو شحنا الكرتين باستخدام قطعة المطاط المدلوك بالصوف ثم قربنا منهما قطعة الزجاج المدلوك بالحرير، نلاحظ اقتراب الكرتين من قطعة الزجاج، مما يدل على أن شيئاً جديداً يأخذ مجراه، فلو كانت شحنة الزجاج مماثلة لتلك التي للمطاط لتنافرت الكرتان كما سبق في التجربة الأولى وهذا يدل على أن نوعا جديداً من الشحنات يختلف عن النوع الأول موجوداً الآن على قطعة الزجاج المعامل بالحرير، وعند إجراء التجربة باستخدام مواد

مختلفة نجد أن الشحنة التي تكتسبها المواد إما أن تكون مشابهة لشحنة المطاط المدلوك بالصوف أو لتلك التي يحملها الزجاج المعامل بالحرير، ومن هنا اقترح العامل بنيامين فرانكلين أن هناك نوعان من الشحنات:

الأولى تعرف بالشحنة الموجبة والثانية تعرف بالشحنات السالبة ولا تزال هذه التسمية مستخدمة حتى وقتنا الحاضر. وهنا استنتاج آخر من هذه التجارب وهو ما يعرف بقانون الجذب والتنافر والذي ينص على أن: الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.

وإذا أجرينا التجربة البسيطة التالية: أدلك قطعة من البلاستيك بالصوف ثم دعها تلامس كرة من الفلين معلقة بخيط، تلاحظ أن الكرة تبتعد عن قطعة البلاستيك مما يدل على أنها اكتسبت جزءاً من شحنتها وأصبحت تحمل شحنة مماثلة لشحنة القطعة. والآن لو قربنا قطعة الصوف من الكرة المعلقة نلاحظ أن الكرة تقترب من قطعة الصوف، وهذا يدل على أن شحنة قطعة الصوف مختلفة لشحنة الكرة.

نستنتج من ذلك: أن الشحنة لا تستحدث بل موجودة في الطبيعة وعند دلك جسمين ببعضهما البعض فإن الشحنة تنتقل من أحدهما للآخر.

١ - ٤ الجسم المشحون:

تتكون المادة من ذرات، ولكل ذرة تحتوي شحنات موجبة وأخرى سالبة لذلك فإن لكل مادة تحتوي عدد كبيراً من الشحنات لكن ليس كل مادة مشحونة لأن كل ذرة في حالتها المستقرة تعتبر متعادلة كهربائية. وإذا انتزعت بعض الكتروناتها فإنها تصبح حاملة لفائض من الشحنات الموجبة. وإذا عممنا ذلك على جسم ما بحيث انتزعت الإلكترونات عدد كبير من ذراته

فإن هذا الجسم يصبح حاملاً لكمية كبيرة من الشحنات الموجبة الفائضة ويقال عن هذا الجسم عندها بأنه مشحون بشحنة موجبة أما إذا أعطيت الشحنات السالبة التي انتزعت من هذا الجسم إلى جسم آخر فإن هذا الأخير يصبح حاملاً لفائض من الشحنات السالبة ويقال عندها أنه مشحون بشحنة سالبة. وعلى هذا يعرف الجسم المشحون بأنه ذلك الجسم الذي لديه فائض من الشحنات الموجبة أو السالبة. واصطلح في الماضي على أن الشحنة الموجبة هي التي تنتقل من جسم لآخر. إلى أنه وبعد اكتشاف التركيب الذري للمادة ومعرفة أن الشحنات السالبة (الإلكترونية) هي التي تنتقل بسهولة من جسم لآخر، فقد أصبح واضحاً أن علينا تغيير هذا الاصطلاح واعتبار أن الشحنة السالبة هي التي تنتقل فعلاً. وإذا نظرنا للموضوع من حيث النتيجة فإن فقدان الجسم لشحنة سالبة يكافئ فقدانه شحنة موجبة، وكذلك اكتساب نفس الجسم بشحنة سالبة يكافئ فقدانه بشحنة موجبة. وذلك ابقي على الاصطلاح السابق والقائل: (لأن الشحنة الموجبة هي التي تنتقل من جسم لآخر مع إدراكنا أن ما يتم فعلا هو انتقال الشحنة السالبة).

تتضمن الفقرة السابقة مبدأ مهما في الكهرباء وهو ما يعرف بقانون حفظ الشحنة فالمجموع الجبري بكل الشحنات في نظام مغلق يكون ثابتاً.

وتنقل الشحنة من جسم لآخر لكن لا يمكن خلق الشحنة أو إفناءها.

ويبدو أن هذا القانون كوني إذ ليس هناك أي تجربة تتعارض نتائجها مع هذا المبدأ.

١ - ٥ الجهد الكهربائي:

سنذهب الآن إلى وصف للتفاعل المتبادل بين توزيعين من الشحنات الكهربائية عن طريق القوى المتبادلة بين هذه الشحنات ودرس العلام شارل كولوم هذه القوى من الناحية الكمية ودرس كولوم قوة التجاذب أو التنافر بين شحنتين نقطتين (الشحنات النقطية هي أجسام مشحونة يمكن اعتبارها أجسام صغيرة مقارنة بالأبعاد بينهما).

وقد وجد كولوم أن هذه القوة تعتمد على ثلاثة عوامل:

١ - البعد بين الشحنتين: لا حظ أن القوة تتغير مع مربع البعد بين الشحنتين بصورة عكسية أي أن $\boxed{Fa\,\frac{1}{r^2}}$ ويقصد بالتناسب هنا أننا إذا رسمنا علاقة بيانية بين $\frac{1}{r^2}$, F، سنحصل على علاقة خطية.

٢ - كمية كل من الشحنتين: أثبتت التجارب أن القوة المتبادلة بين شحنتين نقطتين $(q_2\,q_1)$ تتناسب طردياً مع كمية كل من الشحنتين أي أن $Fa\;q_1\,q_2$ وذلك عندما يكون البعد بينهما ثابت.

٣ - توع الوسط الفاصل بين الشحنتين: يؤثر على القوة المتبادلة بينهما ويؤخذ بعين الاعتبار عن طريق ثابت تناسب يمكن من خلاله تحويل علاقة التناسب بين القوة والعوامل الأخرى إلى علامة المساواة ويرمز له بالثابت K بذلك يكون مقداره القوة المتبادلة بين شحنتين $q_1\,q_2$ يفصل بينهما المسافة ف كما يلي:

$$\boxed{F = k\frac{|q_1\,q_2|}{r_2}}$$

تسمى العلاقة السابقة قانون كولوم والذي ينصّ على أن القوة المتبادلة بين شحنتين نقطتين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كمية

الشحنتين وعكسياً مع مربع البعد بينما وهذا ما يعرف بقانون التربيع العكسي ويجب الملاحظة أن العلاقة المذكورة تعطي مقدار القوة سواء أكانت قوة تجاذب أو تنافر تبعاً لنوعي الشحنتين أمانتا مختلفتين في الإشارة أم متماثلتين واعتماداً على قانون نيوتن الثالث فإن القوة التي تؤثر بها الشحنة q_1 على الشحنة q_2 يساوي من حيث المقدار القوة التي تؤثر بها الشحمة q_2 على الشحنة q_1 ولكن تعاكسها في الاتجاه بحيث تكون القوتان زوجاً من قوتي الفعل ورد الفعل.

١ - ٦ فرق الجهد والجهد الكهربائي:

يذكرنا لفظ الجهد بمصطلح طاقة الوضع وهنا ارتباط وثيق بين الكلمتين يرتبط مفهوم طاقة الوضع بنوع مهم من القوى يعرف بالقوى المحافظة كقوة الجاذبية وقوة المرونة في النوابض ولا يعتمد الشغل الذي تعمله هذه القوى على المسار الذي يسلكه الجسم بل موضعه في البداية والنهاية ولو نظرنا إلى قانون كولوم الذي يعطي صيغة القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين نقطيتين $Fga\ \frac{q_1 q_2}{r^2}$ لأدركنا التشابه بين هذا القانون وقانون الجذب العام بين كتلتين $Fga\ \frac{m_1 , m_2}{r^2}$ حيث تتناسب كل من القوتين مع $\left(\frac{1}{r^2}\right)$ لذلك نتوقع أن تكون القوة الكهربائية قوة محافظة يمكن ربطها بنوع من طاقة الوضع الكهربائية.

نلاحظ عند دراسة الجاذبية نتوصل إلى تعريف التغير في طاقة وضع الجاذبية بأنه "سالب الشغل مبذول على كتلة من قبل قوة الجاذبية" وسوف

نتبع هنا نفس الطريقة بتعريف التغير بطاقة الوضع الكهربائية "سالب الشغل التي تعمله القوة الكهربائية".

$$\Delta V = U_b - U_a = -W_{a\to b}$$

يعتمد الشغل W على الشحنة الاختبارية المتحركة q_0 ، $a \leftarrow b$ وبقسمة الشغل على الشحنة الاختبارية q_0 فإننا سنحصل على كمية لا تعتمد على خواص الشحنة المتأثرة q_0، بل تعتبر مرتبطة بالمجال المؤثر وهي الشغل المبذول لكل شحنة اختبار موجبة:

$$\frac{W_{a\leftarrow b}}{q_0} = \frac{U_b}{q_0} - \frac{U_b}{q_0}$$

ويعرف فرق الجهد بين نقطتين a، b كالتالي:

$$\frac{Ub}{q_0} - \frac{U_a}{q_0} = V_b - V_a$$

لذلك فإن فرق الجهد يقاس بوحدة الجول لكل كولوم (جول/ كولوم) وهو ما يسمى بالفولت نسبة إلى العالم الإيطالي اليساندرو فولتا.

ويمكن تعريف الجهد عند نقطة بأنه الشغل اللازم لإحضار وحدة شحنة اختبار من اللانهاية إلى تلك النقطة ويجب التأكيد أننا عندما نتحدث عن جهد نقطة ما فإنما نقصد فرق الجهد بين هذه النقطة ونقطة مرجعية موجودة في اللانهاية جهدها يساوي صفراً.

١ - ٧ الجهد الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية:

يمكن اللجوء للجهد الكهربائي للتعبير عن أثر شحنة ما عند نقطة معينة تبعد عنها مسافة (r). ويختلف الجهد عن المجال الكهربائي كون الأول

كمية قياسية بينما الثاني كمية متجهة يتوجب تحديدها مقداراً واتجاهاً؛ وكذلك نلاحظ أن الفرق في الجهد لا يعتمد على المسار بل علـــى نقطتـــي البدايـــة والنهاية لن القوة الكهربائية من النوع المحافظ. من هنا فإن الجهد عند نقطة يساوي $\boxed{\frac{q}{4p \in_0 r}}$.

حيث q: الشحنة المؤثرة المراد حساب جهدها.

R: البعد عن هذه الشحنة.

١ - ٨ التيار الكهربائي والمقاومة:

نلاحظ أن هناك تدفق في الشحنات الكهربائيـــة الموجبـــة خـــلال أي موصل من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقل ويكون هذا التدفق مستمراً بوجـــود مصدر طاقة مما يؤدي إلى عدم تراكم الشحنات الكهربائية في منطقة معينـــة دون أخرى من الموصل أما تحرك الشحنات الكهربائية فيدل على أن المجال الكهربائي الموصل لا يعد صفراً والمعدل الزمني لتدفق الشحنات الكهربائيـــة يسمى التيار الكهربائي ولاستمرار تدفق التيار لا بد من وجود مصدر طاقـــة يحافظ على استمرارية تدفق الشحنات الكهربائية ومن الناحية العملية فهناك عوامل تعيق مرور التيار الكهربائي في الموصل مما يؤدي إلى مـــا يـــسمى بالمقاومة.

١ - ٨ - ١ التيار الكهربائي:

ذكرنا سابقاً أنه حتى تتحرك الشحنات الكهربائية وتستمر في حركتها فإنها تحتاج إلى مصدر القوة الدافعة الكهربائيـــة مـــصدر القـــوة الدافعـــة الكهربائية "مصدر طاقة" فعندما يتم ربط موصل ما بمـــصدر يبقـــى طرفـــي الموصل عند فرق جهد ثابت يصاحبه مجال كهربائي ينشأ داخـــل الموصـــل

ويؤدي إلى تدفق الشحنات الكهربائية فيه وبما أن الموصل يحتوي على عدد فائض من الإلكترونات الحرة الحركة فإنها تنساب باتجاه معين وتستمر بالانسياق بفعل فرق الجهد بين طرفي الموصل وعند لحظة ما فإن عدد الإلكترونات المنساقة يساوي عدد الشحنات الموجبة فانسياق الإلكترونات الحرة الحركة فإنها تنساب باتجاه معين وتستمر بالانسياق بفعل فرق الجهد بين طرفي الموصل وعند لحظة ما فإن عدد الإلكترونات المنساقة يساوي عدد الشحنات الموجبة فانسياق الإلكترونات بالنسبة للشحنات الموجبة يشكل تدفقاً للتيار الكهربائي ونفترض اصطلاحاً بأن اتجاه التيار هو اتجاه حركة الشحنات الموجبة ولا نقصد هنا بأن للتيار اتجاه ومن هنا فإن تعريف التيار الكهربائي المتدفق عبر موصل ما بالمعدل الزمني لمرور الشحنات الكهربائية الموجبة حيث أن متوسط التيار.

$$Iav = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

حيث : Δq : مقدار تدفق الشحنات.

Δt : التغير في الزمن:

ويسمى التيار المنساب باتجاه واحد بالتيار المباشر.

والوحدة العملية لقياس شدة التيار هي الأمبير أو الكلولوم/ ثانية، فعند تدفق شحنة كهربائية مقدارها ١ كولوم خلال موصل ما لمدة ١ ث تكون شدة التيار الناتج ١ أمبير.

١-٨-٢ المقاومة:

جميع النبائط الكهربية التي تستهلك الطاقة يجب أن تحتوي على مقاوم (تسمى أحياناً مقاومة) في تركيبة الدائرة بينما يختزن الملف المكثف

الطاقة فإنها ترجع هذه الطاقة مع الوقت إلى المنبع أو إلى أي عنصر آخر في الدائرة وتكون القدرة في المقاوم $p = ui = i^2R = u^2/R$ موجبة دائماً. كما هو مبين في مثال ١ - ٢ التالي وتكون الطاقة هي تكامل القدرة اللحظية.

$$w = \int_{t_1}^{t_2} p\,dt = R\int_{t_1}^{t_2} i^2\,dt = \frac{1}{R}\int_{t_1}^{t_2} u^2\,dt$$

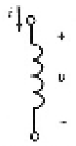
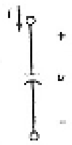
١ - ٩ علاقات الجهد والتيار:

تعرف العناصر الغير فعالة وهي المقاومة R، والحث L والسعة L بعلاقة الجهد والتيار الخاصة بكل عنصر على حدة وعلى سبيل المثال: إذا كان الجهد والتيار لعنصر ما مرتبطين بقيم ثابتة فيكون العنصر مقاومة R وتكون R هي ثابت التناسب بين الجهد والتيار $u = Ri$ وبالمثل إذا كان الجهد هو معامل تفاضلي للتيار فيكون العنصر حثا. وتكون L هي معامل التناسب $u = L\,di/dt$ وأخيرا إذا كان التيار في العنصر معامل تفاضلي للجهد فيكون العنصر سعة C وهي معامل التناسب $i = C\,du/dt$.

والجدول التالي يلخص هذه العلاقات لثلاث عناصر الغير فعالة لاحظ اتجاهات التيار وإشارات الجهد. باعتبار المقاومة هي Resistance ، الحث Inductance ، والسعة هي Capacitance.

جدول ١ - ٢

Circuit element	Units	Voltage	Current	Power
 Resistance	Ohms (Ω)	$u = iR$ (ohms law)	$i = \frac{u}{R}$	$P = ui = i^2R$

Circuit element	**Units**	**Voltage**	**Current**	**Power**
 Inductance	Henries (H)	$u = L\frac{di}{dt}$	$i = \frac{1}{L}\int u\,dt + k_1$	$P = ui = Li\frac{di}{dt}$
 Capacitance	Farads (F)	$u = \frac{1}{C}\int i dt + k_2$	$i = C\frac{du}{dt}$	$P = ui = Cu\frac{di}{dt}$

الفصل الثاني

قانون أوم

١ - ١٠ قانون أوم:

إن تدفق تيار كهربائي ثابت عبر موصل منتظم يعتمد على فرق الجهد بين طرفيه وإذا بقيت الظروف الفيزيائية للموصل ثابتة، فإن شدة التيار المتدفق I بين طرفي الموصل تتناسب طرديا مع فرق الجهد (V) بين طرفيه، أي أن:

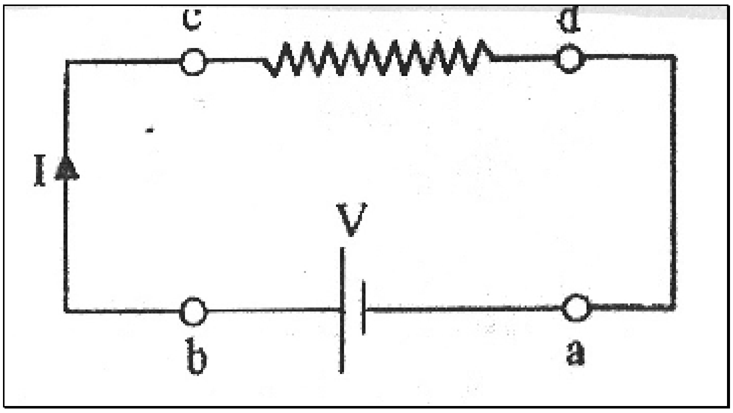
$$R = \frac{V}{I}$$

حيث R = ثابت التناسب، ويسمى بالمقاومة الكهربائية للموصل وهذه هي الصورة المهجرية لقانون أوم، أما الوحدة العلمية لقياس المقاومة الكهربائية فهي الأوم Ω ويعرف بمقاومة موصل يمر فيه تيار كهربائي شدته (١) أمبير عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه (١) فولت.

١ - ١١ الطاقة الكهربائية والقدرة :

من الملاحظ أن السبب الرئيسي لتدفق التيار الكهربائي خلال موصل ما، هو وجود مصدر للقوة الكهربائية بين طرفيه حيث تتحول الطاقة الكيميائية المختزنة في البطارية مثلا باستمرار إلى طاقة حركية تكتسبها ناقلات الشحنة.

وسريعا ما تختفي هذه الطاقة بفعل التصادمات المتكــررة مــع ذرات الموصل لتظهر على شكل ارتفاع في درجة حرارة الموصل وبذلك فإن الطاقة الكيميائية المختزنة في البطارية تتحول باستمرار إلى طاقة حرارية.



فإذا تتبعنا شحنة موجبة (Δq) متحركة، خلال الـدارة فــي الــشكل السابق من النقطة a خلال البطارية إلى النقطة b فإن طاقتهــا الكهربائيــة ستزداد بمقدار $(V.\Delta q)$ عند مرورها عبر البطارية حيــث : $(V = V_B - V_A)$ بفعل الشغل المبذول على الشحنات لتحريكها عبر المصدر من الطرف الأقــل جهدا (السالب) نحو الطرف أي الجهد الأعلى (الموجب). في حيــث ســتقل الطاقة بنفس المقدار عند مرور الشحنة خلال المقاومة من النقطــة c إلــى النقطة d وذلك بسبب التصادمات المتكررة مع ذرات الموصل، أي أن الطاقة تصبح مساوية للصفر عند عودة الشحنة مرة أخرى إلى النقطــة a لإكمــال دورة أخرى وهكذا فالمعدل الزمني لفقد الطاقة ΔV.

أو متوسط القدرة $r_{avg} = \dfrac{\Delta U}{\Delta t} = \dfrac{v.\Delta q}{\Delta t}$

$$r_{av} = V = \frac{v.\Delta q}{\Delta t} * I_{av}$$

أما القدرة اللحظة فعتطى بالعلاقة :

$$(P = \lim_{\Delta t \longrightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \longrightarrow 0} \frac{v.\Delta q}{\Delta t} = \text{القدرة}$$

$$(P = V.\frac{dq}{dt} = v.I$$

حيث تمثل (I) تيار الدائرة أما الشحنة فتكتسب مقدار الطاقة هذا عند مرورها عبر البطارية أي (P = V.I)

من هنا $P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

وكما نعلم فإن وحدة القدرة هي (الواط) وتسمى القـــدرة المـــستنفذة كحرارة في موصل ما مقاومته (R).

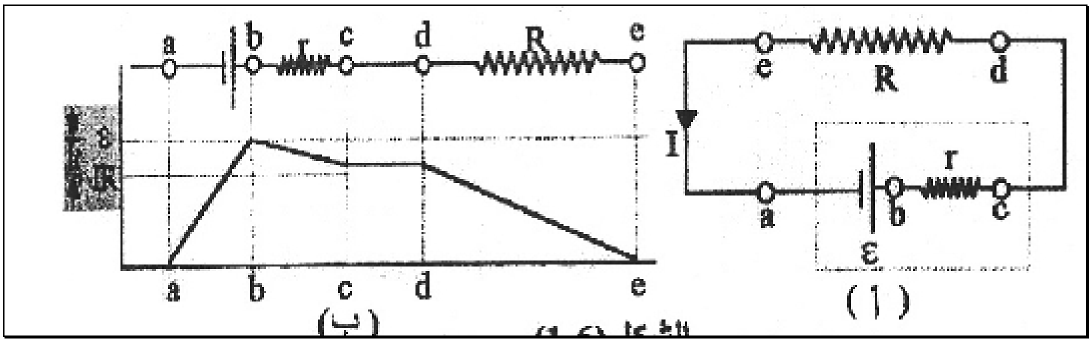
١ - ١٢ دوائر التيار المستمر المحتوية على مقاومات:

ها سندرس تحليل بعض الدارات الكهربائيـــة ذات التيـــار المـــستمر بعناصرها المختلفة كمصادر للطاقة والمقاومات باعتماد قاعدتين أساســيتين تعرفان بقاعدتي كيرتشوف اللتين تستندان إلى مبدأي حفظ الشحنة الكهربائية والطاقة وتعتمدان على قانون أوم كأساس لهما.

١ - ١٣ الدارة الكهربائية البسيطة:

من الواضح أن القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهـــد بـــين قطبـــي البطارية ليسا شيئا واحدا. لملاحظة الفرق بينهما. نأخذ دارة كهربائية تتكون من بطارية مقاومتها الداخلية (r) متصلة بمقاومة خارجية (R) فعند تتبع مرور شحنة موجبة من a إلى b في الشكل التالي فإن الجهد الكهربائي يزداد بمقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية عند تحركها خـــلال البطاريـــة مـــن الطرف السالب نحو الموجب. أما وخلال تحركها عبر المقاومة الداخلية من

b) إلى c) والمقاومة الخارجية من (d إلى E) فــإن الجهــد الكهربــائي ينقص بمقدار Ir و IR.



حيث :

e: القوة الدافعة الكهربائية للبطارية.

r: المقاومة الداخلية للبطارية..

I : التيار المار في الدائرة الكهربائية.

من الواضح أن $V_a - V_e = zero$. وذلك لأن المقاومة الموجودة بين نقطتي (a و e) = 0 .

وأن:

$$(V_c - V_a) + (V_b - V_c) + (V_a - V_b) = 0$$

أي أن :

$$\boxed{-e + Ir + IR = 0}$$

$$\boxed{V + Ir = e}$$

حيث V هي فرق الجهد بين طرفي المقاومة الخارجية ويسمى الجهد الطرفي ويساوي $\boxed{V = e - Ir}$

وتتبين من المعادلة السابقة على أن فرق الجهد بين طرفي المقاومة الخارجية أقل من القوة الدافعة الكهربائية بمقدار (Ir) أما الاختلاف بين eو V فيعود إلى أن جزءاً من القوة الدافعة الكهربائية الكلية يستهلك في إجبار التيار على التدفق عبر البطارية (أي المقاومة الداخلية للبطارية).

وتكون $\boxed{V=e}$ عندما تكون المقاومة الخارجية كبيرة جدا حيث يؤول التيار إلى الصفر. وبذلك يتناقص قيمة Ir بينما تزداد قيمة c لتقترب من نهايتها القصوى e وعند تحقق الشرط $\boxed{v=e}$ فإن البطارية لا تقوم بمد الدارة الكهربائية بالتيار الكهربائي (أي تبدو الدائرة مفتوحة) وعليه فإن القوة الدافعة الكهربائية لأي مصدر هي فرق الجهد بين طرفيه عندما تكون الدارة مفتوحة. وعندما يكون تيار الدارة مساويا للصفر ويسمى تيار الدارة المفتوحة. أما معدل الطاقة المزودة للداراة بواسطة التأثير الكيميائي في داخل البطارية يساوي $\boxed{I*e}$حيث تستنفذ الكمية (I^2 r) نتيجة لتسخين البطارية ويبقى المقدار $\boxed{e\,I-I^2r}$ لتزويد المقاومة الخارجية.

وبالمقابل إذا تدفق التيار بالاتجاه المعاكس فإن معدل الطاقة المزودة للبطارية يساوي $\boxed{I^2r+e\,I}$ ويستنفذ الجزء $\boxed{I^2r}$ في تسخين البطارية بينما يستخدم الجزء $e\,I$ ليعكس الفعل الكيميائي أي (الشحن البطارية).

وعليه فإن تحول الطاقة المتضمن القوة الدافعة الكهربائية هي عملية عكسية لكن الجزء الذي يشمل $\boxed{I^2r}$هي عملية غير عكسية. أي أن معدل الطاقة المستهلكة$\boxed{I^2r}$ هو عملية غير عكسية. أي أن معدل الطاقة المستهلكة $\boxed{I^2r}$لا يعتمد على اتجاه انسياب التيار الكهربائي ولذلك فهي طاقة غير مستردة.

٢ - ١٣دوائر التيار المستمر

معادلة الدائرة الكهربائية:

أن الطاقة الكهربائية التي تزودها البطارية للدائرة المبينة في الشكل تتحـــول إلى طاقة حرارية H تظهر في مقاومة الدائرة ولو طبقنا قانون حفظ الطاقـــة على تلك الدائرة الكهربائية لوجدنا أن

$H = I^2R$

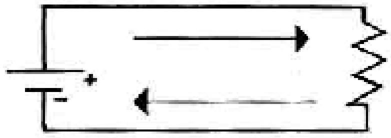
وبمعنى آخر أن معدل الطاقة الكهربائية التي يمدها مــصدر القـــوة الدافعـــة الكهربائية ε للدائرة تساوي معدل تبديد الطاقة في المقاومة الكلية R للدائرة. ومن هذه المعادلة نجد أن قيمة التيار المتكون في هذه الدائرة تصبح:

$$I = \frac{e}{R}$$

وإذا تذكرنا أن جزء من الطاقة يتبدد في داخل المصدر نظراً لكـــون جميـــع مصادر القوة الدافعة الكهرباية لها مقاومة داخلية (نرى أنه من الأفـــضل أن نجزئ المقاومة الكلية في الدائرة إلى جزئين، المقاومة الداخليـــة للمـــصدر ونرمز لها بالحرف r والمقاومة الخارجية للدائرة ونرمز لها بالحرف R وبعد الاستعاضة عن المقاومة الكلية بمجموع المقاومتين الداخليـــة والخارجيـــة نحصل على:

$$I = \frac{e}{R + r}$$

وتسمى هذه العلاقة بمعادلة الدائرة الكهربائية والتي بواسطتها يمكن حساب التيار في الدائرة المغلقة:

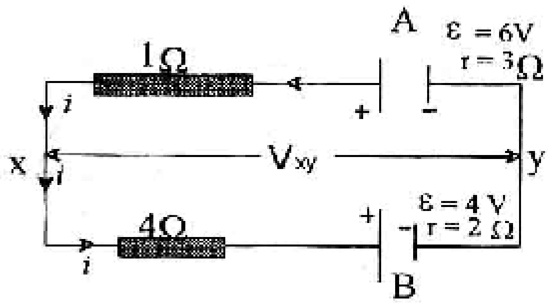


دائرة كهربائية بسيطة

مثال: (١)

من الشكل. احسب أولاً: فرق الجهد على البطاريتين A, B.

ثانياً: فرق الجهد بين x y، إذا كان التيار المار 0.2 A.



الحل:

أ - التيار المار:

فرق الجهد الداخلي عبر النقطة A هو:

$V_a = e - Ir = 6 - (0.2 \times 3)$

$= 5.4$ Volt

وبما أن التيار يسير عبر الدائرة ضد القوة الدافعة الكهربائية emf البطارية B وذلك كون البطارية A هي الأكبر.

$V_b = e - ir = -4 - 0.2 \times 2$

$= -4.4$ Volt

ب - فرق الجهد بين y x يساوي فرق الجهد على البطارية A ناقصاً فرق الجهد عبر المقاومة 1.

$$V_{xy} = 5.4 - 0.2 \times 1 = 5.2 \ V$$

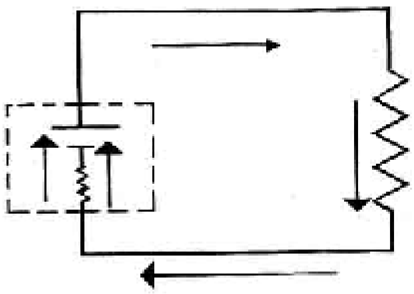
للتأكد نأخذها عبر البطارية الأخرى (B).

$$V_{xy} = 4.4 - 0.2 = 5.2 \, Volt$$

أي أن فرق الجهد عبر (xy) هو نفسه عبر أي بطارية.

حساب فرق الجهد في الدوائر الكهربائية:

يبين الشكل دائرة كهربائية مكونة من مصدر قوتــه الدافعــة الكهربائيــة ε ومقاومته الداخلية r يتصل مع مقاومة r. أما التيار فيدور باتجــاه عقــرب الساعة Clockwise كما هو واضح من الشكل.



لحاسب فرق الجهد بين طرفي البطارية a و b (V_{ab}) نعتبر التغيرات التي تحصل في فرق الجهد عبر عناصر الدائرة بين هاتين النقطتين. فعند الــسير من النقطة b (وجهدها V_b) باتجاه التيار عبر المقاومة r إلــى النقطــة C (جهدها V_C) نلاحظ أنه يحدث هبوط في الجهد potential drop وهذا يعني أن الجهد في b هو أعلى منه في c، وذلك أن الشحنات الموجبة تنساب من الجهد العالي إلى الجهد المنخفض، وعند عبور التيار مصدر القوة الدافعــة الكهربائية من النقطة c إلى a نجد أنه يحدث ارتفاع بالجهد potential rise قدره E. أن هذه الزيادة في الجهد ناتجة عن كون المصدر يبذل شغلاً علــى الشحنات الموجبة عند نقلها خلاله من القطب السالب إلى القطــب الموجــب فيرتفع بذلك الجهد ولو اتفقنا أن نعطي إشارة موجبة للارتفاع فــي الجهــد وسالبة للانخفاض في الجهد يصبح علينا من السهل جداً حساب فرق الجهد

V_{ab}، وذلك بأخذ المجموع الجبري للتغيرات الحاصلة في الجهد عبر هذا المسار أي:

$$V_b - ir + e = V_a$$

أو

$$V_{ab} = V_a - V_b = +e - ir$$

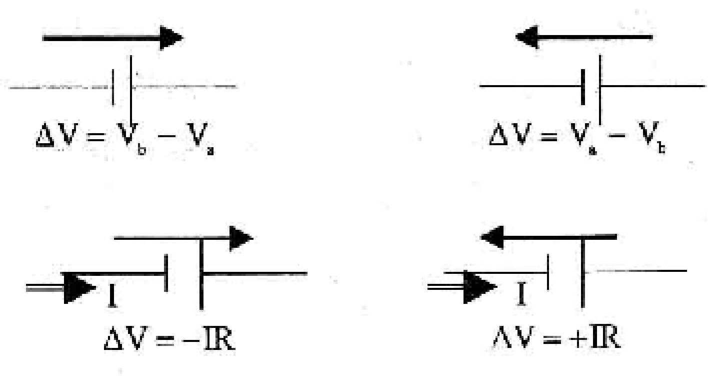
وهكذا نستطيع أن نحسب فرق الجهد بين أية نقطتين في دائرة كهربائية مهما كانت معقدة وذلك بحساب المجموع الجبري للتغيرات في الجهد عبر عناصر أي مسار موصل Conducting path يربط بين هاتين النقطتين آخذين بنظر الاعتبار القاعدتين التاليتين:

(١ - أ) عند اجتياز المقاومة باتجاه التيار فإنه يحدث هبوط في الجهد قدره (-IR).

(١ - ب) عند اجتياز المقاومة باتجاه عكس التيار فإنه يحدث ارتفاع في الجهد قدره (+ IR).

(٢ -أ) عند اجتياز القوة الدافعة الكهربائية من قطبها السالب إلى قطبها الموجب (أي بنفس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية) فإنه يحدث ارتفاع في الجهد قدره (+ε).

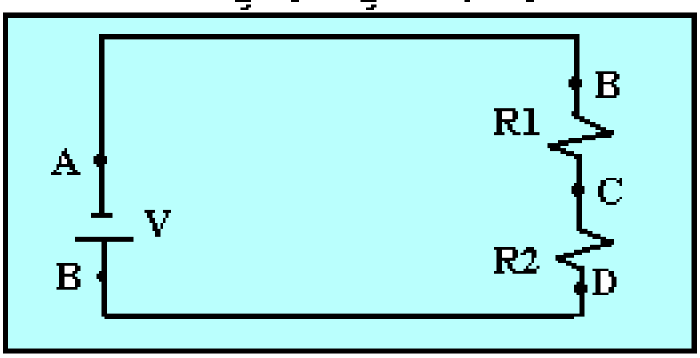
(٢ -ب) عند اجتياز القوة الدافعة الكهربائية من قطبها الموجب إلى قطبها السالب (أي بعكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية) فإنه يحدث انخفاض (هبوط) في الجهد قدره (- ε).



توصيل الدوائر الكهربية على التوالي :Series Connection

يقصد بالتوصيل على التوالي أن تتصل مكونات الدائرة الكهربية المغلقة بصورة متتالية، بحيث يكون طرف كل مكون من مكونات الدائرة، متصلا بطرف واحد من المكون الذي يليه؛ وهو يتيح مساراً واحداً فقط، للإلكترونات في هذه الدائرة، انظر الشكل الرقم ١ .

التوصيل علي التوالي



التيار الكهربي هو حركة الإلكترونات، الناتجة عن فرق الجهد الكهربي المطبق بين نقطتين، وفي الشكل الرقم ١، توفر البطارية الجهد الكهربي V، الذي يدفع الإلكترونات إلى الانتقال من الطرف السالب A للبطارية، خلال السلك الموصل، حتى النقطة B، ثم خلال المقاومة R_1، إلى النقطة C ، ثم خلال المقاومة R_2 ، إلى الطرف D ، ثم من خلال سلك التوصيل، إلى طرف البطارية الموجب E ؛ أي أن الإلكترونات ذات الشحنات السالبة تنتقل خلال

المقومات R_1 ، R_2مبتعدة عن الطرف السالب للبطارية، وفي اتجاه الطـــرف الموجب لها، وتكون سرعة انتقال الإلكترونات خلال مكونات الدائرة ثابتـــة؛ هذا يعني أن شدة التيار الكهربي I، المار في الدائرة ثابتـــة، لا تتغير.

يوضح الشكل الرقم ١ طريقة حساب المقاومة الكلية للدائرة الموصلة على التوالي، حيث تتحرك الإلكترونات مبتعدة عن الطرف السالب للبطاريةA ، ويلزم أن تتغلب على المقاومات الموجودة بالـــدائرة، حتـــى تـــتمكن مـــن الوصول إلى الطرف الموجبE للبطارية؛ وبعبارة أخرى يلزم أن تتغلب على المقاومة الكلية، R_T، للدائرة حيث

$$R_T = R_1 + R_2$$

وبصفة عامة، فإن المقاومة الكلية للدائرة، تساوي مجموع كل المقاومات المكونة لهذه الدائرة هي

$$R_T = R_1 + R_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots R_p + \ldots.$$

وهذه الصورة صحيحة، لأي عدد من المقاومات المتصلة على التوالي؛ من قانون أوم:

$$V_T = IR_T$$

حيث إنV_T ، هو فرق الجهد الكلى، المطبق على طرفي دائرة التوالي، و Iشدة التيار المار في الدائرة، و R_Tالمقاومة الكلية للدائرة .

التيار Iيمر في المقاومةR_1 ، وهذا يعنى وجود فرق جهد كهربي بين طرفيها، من النقطتين B وC، وبتطبيق قانون أم، يكون فرق الجهد الكهربي بين النقطتين Bو Cهو :

$$V_{BC} = IR_1$$

وعلى المنوال نفسه، يكون فرق الجهد الكهربي بين النقطتين C و Dهو :

$$V_{CD} = IR_1$$

وبجمع العلاقتين السابقتين يتضح أن :

$$V_{BC} + V_{CD} = IR_1 + IR_2$$

$$V_{BC} + V_{CD} = I(R_1 + R_2) = IR_T = V_T$$

أي أن الجهد الكلي، المطبق على الدائرة الموصلة على التوالي، يساوي مجموع فروق الجهد الجزئية، الواقعة على المقاومات المكونة لهذه الدائرة، وبصورة عامة، يمكن القول إن فرق الجهد الكلي، الموصل بين أطراف دائرة موصلة على التوالي، يتوزع على المقاومات المكونة لها، بحيث يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة، متناسباً طرد ياً مع قيمة هذه المقاومة، ويساوي شدة التيار المار في الدائرة مضروباً في قيمة المقاومة، وهذا يعني أنه كلما زادت قيمة المقاومة، ازدادت قيمة فرق الجهد الكهربي الواقع على طرفيها، مع ملاحظة أن شدة التيار ثابتة في الدوائر الموصلة على التوالي.

القدرة الكهربية، هي التعبير عن الطاقة المخزونة في البطارية، التي يمكن أن تبذل الشغل اللازم، لدفع الإلكترونات، عبر طرفي الدائرة الكهربية، متغلبة على المقاومات التي تواجهها، ويرمز لها بالرمز P ، ويعبر عنها بحاصل ضرب فرق الجهد الكهربي، وشدة التيار المار بالدائرة:

$$P = \frac{I^2}{R}$$

هذه القدرة الكهربية، تستهلك في تنفيذ الغرض، من أجلـه صـممت الدائرة الكهربية، مثل الإضاءة، أو التدفئة، أو إدارة محرك، وفي حالة الدائرة الموضحة بالشكل الرقم ١، فإن الطاقة P ، تتبدد في المقاومات R_1 ، R_2 فـي صورة حرارة، وتكون الطاقة الكلية المستهلكة في الدائرة الكهربية، مساوية لمجموع الطاقات، التي يستهلكها كل مكون من مكونات الدائرة :

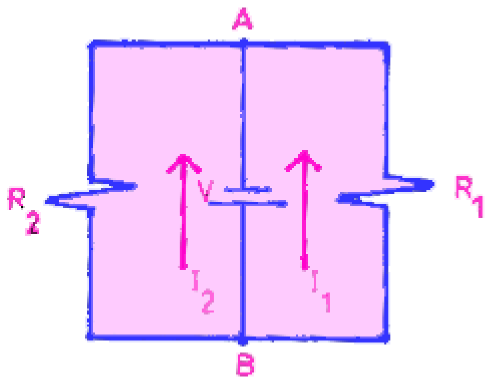
$$P_T = P_1 + P_2$$

حيث إن P_T هي الطاقة الكلية، المستهلكة في الدائرة الكهربيـة، و P_1 الطاقة المستهلكة في المقاومة R_1، و P_2 الطاقة المستهلكة في المقاومة R_2.

توصيل الدوائر الكهربية على التوازي

يقصد بالتوصيل على التوازي أن يتصل مكون أو أكثر، من مكونات دائرة كهربية، بين طرفي مصدر الجهد الكهربي، وهذا يعني أن فرق الجهد الكهربي، المطبق على أطراف المكونات المتصلة على التوازي ثابت؛ أي أن جميع المكونات المتصلة على التوازي، تشترك في فرق جهد كهربي واحد، وهذا الجهد يسبب تياراً كهربياً في كل مكون، يختلف طبقاً لمقاومة هذا المكون؛ في الشكل الرقم ٢،

التوصيل علي التوازي الشكل الرقم ٢



يلاحظ أن المقاومتين R_1 ، R_2 متصلتان بين طرفي البطاريـــة A، B وهــذا يعني، أن فرق الجهد الكهربي، المطبق على طرفي R_1 ، هو جهد البطارية V ، وكذلك فرق الجهد المطبق على طرفي R_2 هو نفسه V ؛ هــذا الأســلوب للتوصيل، هو الأسلوب المستخدم لتوصيل الكهرباء المنزلية، حيث تحتاج كل الأجهزة الكهربية المنزلية لجهد كهربي واحد ومحدد، ٢٢٠ فولت، مثلاً، لكي تعمل بصورة سليمة .

بتطبيق قانون أوم، على كل مكون من مكونات الــدائرة الكهربيـــة، الموصلة على التوازي، يلاحظ أن شدة التيار المار في كل مقاومة، يتناســب مع قيمة هذه المقاومة، أي أن شدة التيار I_1 المار في المقاومة R_1 يكون :

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

و شدة التيار المار في المقاومة R_2 تكون

$$I_2 = \frac{V}{R_1}$$

ومجموع التيارين I_1 ، I_2 هو التيار الكلي، الــذي يمــر فــي الــدائرة الكهربية، وإذا درست الدائرة الموضحة في الشكل الرقم ٢، بصفة عامة فإن التيار الكلي، الذي تدفعه البطارية في الدائرة يكون:

$$I_2 = \frac{V}{R_T}$$

١. حيث I_T يرمز إلى التيار الكلي المار في الدائرة، و R_T إلــى المقاومــة الكلية للدائرة، و V إلى فرق الجهد بين طرفي الدائرة؛ أي أن:

$$I_T = I_1 + I_2$$
$$\frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1} = \frac{V}{R_2}$$
$$\frac{V}{R_T} = \frac{V^{R_1 R_2}}{R_1 + R_2}$$

وهذا يعني، أن المقاومة الكلية للدائرة الكهربية R_T ، تكافئ مقاومة أخرى قيمتها هي :

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

أي أن القيمة المكافئة للمقاومتين R_1 ، R_2 المتصلتين على التوازي، هي :

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

وبصورة عامة، فإن المقاومة الكلية لأي عدد من المقاومات المتصلة على التوازي، هي :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n} + ...$$

وهذه العلاقة صحيحة، لأي عدد من المقاومات المتصلة على التوازي، ويمكن التعبير عن الدوائر، المتصلة على التوازي بصورة أبسط، إذا استخدم تعريف التوصيلية الكهربية G حيث إن :

$$G = \frac{1}{R}$$

وفي هذه الحالة، تكون التوصيلية الكهربية الكلية للدائرة الكهربية، المتصلة علي التوازي هي :

$$G_T = G_1 + G_2 + ...G_n + ...$$

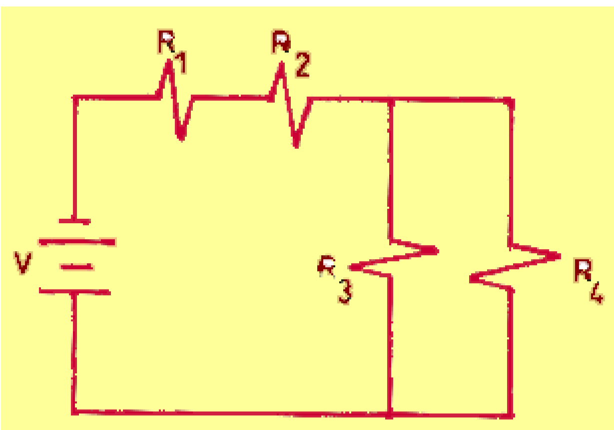
القدرة الكهربية الكلية، المستهلكة في الدائرة المتصلة على التوازي، تساوي القدرة الكهربية المستهلكة، في كل مكون من مكونات الدائرة على حدة، أي أن:

$$P_T = P_1 + P_2 + \ldots$$

وهذه العلاقة، هي نفسها العلاقة، التي تنطبق على حالة الدوائر الكهربية الموصلة على التوالي، والتطابق ناتج، من أن مصدر الطاقة، هو المسؤول عن بذل الشغل، لدفع التيار الكهربي في جميع مكونات الدائرة؛ يستخلص من ذلك أن طريقة التوصيل الكهربي للدائرة، تؤثر في توزيع الجهد أو التيار الكهربي بين مكونات الدائرة، ولكن تبقى القدرة الكهربية المستهلكة في مكونات الدائرة ثابتة في جميع الأحوال، ولا ترتبط بأسلوب التوصيل .

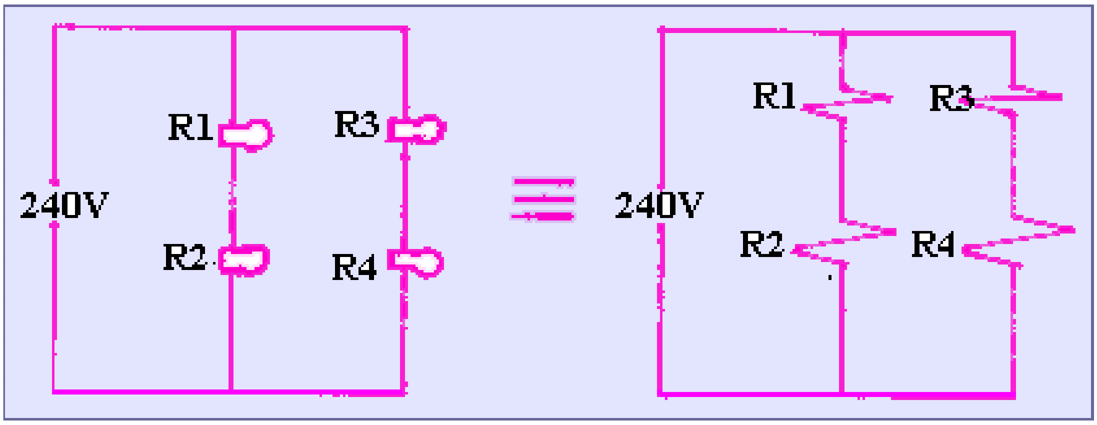
التوصيل المختلط، التوالي والتوازي معاً في دائرة كهربية واحدة

يلاحظ في العديد من الدوائر الكهربية، أن بعض المكونات متصلة على التوالي، حتى يمر بها التيار الكهربي نفسه، وبعض المكونات الأخرى متصلة على التوازي، حتى يقع على أطرافها فرق الجهد الكهربي نفسه، انظر **الشكل الرقم ٣**؛ التوصيل المختلط الشكل الرقم ٣



وهذا الأسلوب من التوصيل للدوائر الكهربية، يلجأ إليه عندما يكون من الضروري، توفير قيم مختلفة من التيار الكهربي، ومن الجهد الكهربي من مصدر تغذية كهربية واحد، مثل حالة أربعة مصابيح كهربية، كل منها يحتاج لفرق جهد ١٢٠ فولت، ليعطي إضاءة بقدرة ١٠٠ وات، مطلوب توصيلها جميعاً، مع استخدام المصدر الكهربي المتاح، وهو مصدر يحقق فرق جهد مقداره ٢٤٠ فولت، فإذا تم توصيل المصابيح الأربعة على التوالي مع المصدر انطبق على كل منها ٦٠ فولت فقط، وهذا الجهد لا يكفي، بطبيعة الحال، للحصول على الإضاءة المناسبة من المصابيح، وإذا تم توصيل المصابيح الأربعة على التوازي، مع المصدر، انطبق على كل مصباح فرق جهد ٢٤٠ فولت، الأمر الذي يؤدي إلى تلف المصابيح كلها؛ ولحل هذه المشكلة يلزم توصيل كل مصباحين معاً، على التوالي في فرع واحد، ثم توصيل الفرعين معاً على التوازي، فيقع على كل فرع فرق جهد ٢٤٠ فولت، ويقع على كل مصباح ١٢٠ فولت، وهو الجهد المناسب لتحقيق الإضاءة المناسبة، الشكل الرقم ٤؛ يستفاد من هذا الأسلوب فيما يطلق عليه مجزئ الجهد، ومستنزف التيار:

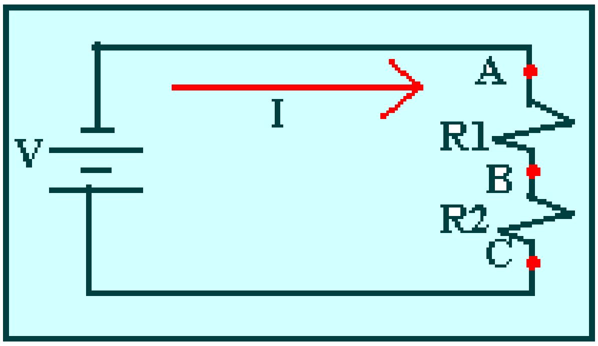
مثال لتوصيل أربعة مصابيح



١. مجزئ الجهد :

عند تصميم، الدوائر الكهربية المختلفة وتنفيذها، تظهر أحياناً الحاجة إلي استخدام جهد كهربي، يكافئ جزءاً فقط، من جهد مصدر الجهد الكهربي الكلي، المغذي للدائرة، ولتحقيق هذا المطلب، تستغل خاصية تقسيم الجهد على المقاومات الموصلة على التوالي، ويطلق على التوصيل الكهربي، في هذه الحالة "مجزئ الجهد"، الشكل الرقم ٥؛

مجزئ الجهد



يحسب الجهد V_{BC} كالآتي :

التيار I المار بالدائرة تحدده المعادلة :

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

و يكون الجهد الكهربي V_{BC} هو :

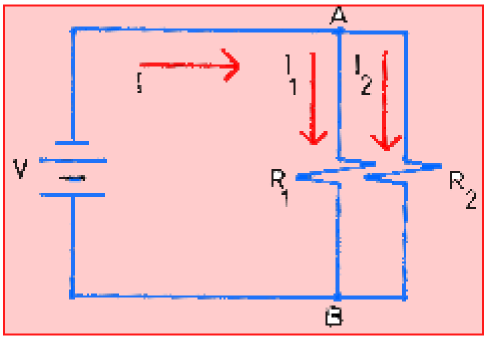
$$V_{BC} = IR_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} \times R_1 = V\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

أي أنه، يمكن التحكم في قيمة الجهد V_{BC} ، باختيار قيم مناسبة لكل من R_1 ، R_2 .

٢. مستنزف التيار :

عند تصميم، الدوائر الكهربية المختلفة وتنفيذها، تظهر أحيانا الحاجة إلي التحكم في قيمة التيار، المار بمكون معين، ليكون جزءاً من التيار الكلي، المار بالدائرة، ولتحقيق ذلك، تستخدم خاصية تقسيم التيار الكهربي، بين المكونات الموصلة على التوازي، ويطلق على التوصيل الكهربي، في هذه الحالة، "مستنزف التيار"، الشكل الرقم ٦

مستنزف التيار الشكل الرقم ٦



$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$V = I\,\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = I\,\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

أي أن التيار I_1 المار في المقاومة R_1هو جزء من التيار الكلي I، ويمكن التحكم في قيمته، بالاختيار المناسب، لقيم كل منR_1 , R_2، وبصفة عامة، يمكن استخدام مجزءات الجهد، ومستنزفات التيار معاً، وبأي عدد من المرات، لتوفير الجهد الكهربي، وشدة التيار المناسبة، لكل جزء من أجزاء الدائرة الكهربية، التي تغذى من مصدر كهربي واحد، مثل جهاز التليفزيون

المغذى من مصدر كهربي واحد، ولكن تحتاج مكوناته المختلفة، إلـــى قـــيم شديدة التباين من الجهد والتيار .

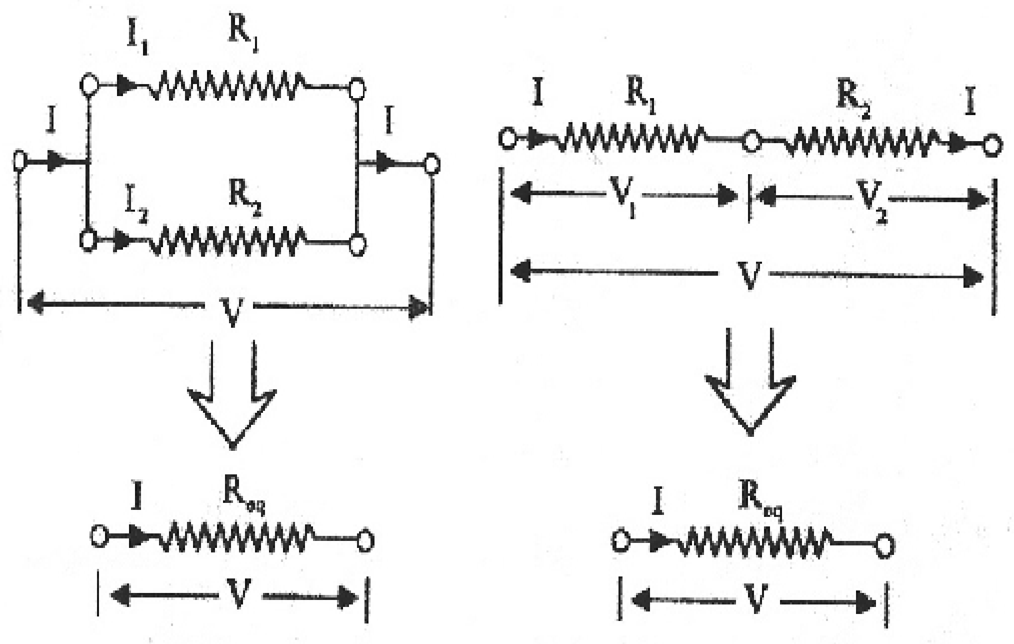
الباب الثاني

توصيل المقاومات وقوانين الدائرة

توصيل المقاومات وقوانين الدوائر

٢ - ١ توصيل المقاومات

المقاومة المكافئة: (R_{eq}) هي المقاومة البديلة لمجموعة من المقاومات بحيث تعمل عملها أي يمر فيها نفس التيار وتستهلك نفس الطاقة يبين الشكل التالي مثاليين لهذه الطريقة.



(ب)
الوصل على التوازي

(أ)
الوصل على التوالي

وفي كلتا الحالتين يراد إيجاد المقاومة المكافئة (R_{eq}) والتي عند وصلها مع مصدر طاقة (بطارية) تعطي نفس التيار المسحوب من المصدر كما هو للمجموعة.

٢ - ٢ الوصل على التوالي:

يمكن إيجاد القوة المكافئة (R_{eq}) لمقـــاومتين R_1 و R_2 موصـــولتين على التوالي من التحليل التالي :

فرق الجهد بين طرفي المقاومتين معا يساوي مجموع فرقـــي الجهــد بين كل منهما على حدة.

أي أن :

$$V = V_1 + V_2$$

وبما أن التيار المتدفق عبر أي مـــن المقـــاومتين يـــساوي I ، إذن بتطبيق قانون أوم $V = I\,R$ نجد أن:

$$\boxed{V + R_1 I + R_2 I = I\,(R_1 + R_2)}$$

$$\boxed{\frac{V}{I} = R_{eq} + R_1 + R_2}$$

وبشكل عام فإن المقاومة المكافئة لمجموعـــة (n) مـــن المقاومـــات موصولة على التوالي تساوي:

$$\boxed{R_{eq} = \sum_{i=1}^{n} R_i}$$

مما يعني أن R_{eq} تزيد بزيادة عدد المقاومات عند وصلها على التوالي وتكون المقاومة المكافئة أكبر من المقاومات الموصولة على التوالي.

٢ - ٣ الوصل على التوازي:

نجد المقاومة المكافئة لمجموعة مؤلفة من مقاومتين R_1 و R_2 كمـــا في الشكل التالي . (الوصل على التوازي) وذلك بملاحظة أن التيار المتدفق من المصدر يتفرع إلى I_1 و I_2 اعتمادا على مقداري المقاومتين وبناء على مبدأ حفظ الشحنة الكهربائية فإن :

$$I = I_1 + I_2$$

وحيث أن فرق الجهد بين طرفي أي من المقاومتين يـــساوي V إذن بتطبيق قانون أوم نجد أن:

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

ومن هنا نتوصل إلى خصائص التوصيل:

التوصيل على التوالي :

1. $I = I_1 = I_2 = I_3 = ...I_n$

2. $V = V_1 + V_2 + V_3 + ...V_n$

3. $R_{eq} = R_1 + R_2 + ...R_n$

التوصيل على التوازي :

1. $I + I_1 + I_2 + I_3 + \ldots . I_n$

2. $V = V_1 = V_2 = V_3 = \ldots . V_n$

3. $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots \ldots \frac{1}{R_n}$

ملاحظة:

- **التوالي له شرط واحد وهو عدم التفرع.**
- **التوازي له شرطان: التفرع ، ثم التجميع مباشرة بعد كل مقاومة دون المرور على مقاومة أخرى.**

٢ - ٤ قاعدتا كيرتشوف:

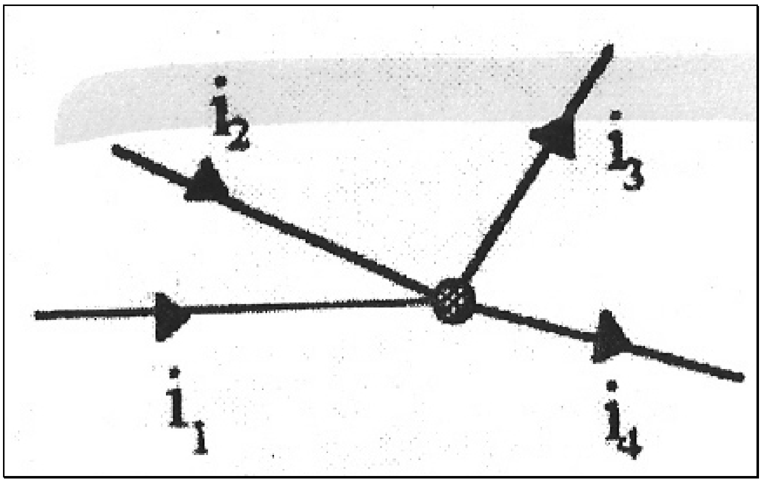
من الناحية العملية نواجه بعض الدارات الكهربائية التي يصعب تبسيطها باستخدام قانوني التوالي والتوازي إلا أنه يسهل تحليل هذه الدارات الكهربائية (إيجاد المقاومة ا لمكافئة لمجموعة المقاومات أو التيار الكهربائي المتدفق خلال عناصر الدارة (باستخدام قاعدتي كيرتشوف نسبة إلى العالم جوستاف كيرتشوف.

٢ - ٤ - ١ القاعدة الأولى (مبدأ حفظ الشحنة) :

وتنص على أن المجموع الجبري للتيارات الكهربائية الملتقية عند نقطة تفرع ما في دارة كهربائية يساوي صفرا.

وبما أنه لا يوجد تراكم للشحنات الكهربائية الملتقية عند نقطة تفرع ما في دائرة كهربائية يساوي صفرا.

وبما أنه لا يوجد تراكم للشحنات الكهربائية عبر الموصل وعند أي نقطة معينة، فإن التيار الكهربائي الكلي الداخل إلى نقطة يجب أن يساوي التيار الكهربائي الكلي الخارج من تلك النقطة. وعدة ما تعطي الإشارة السالبة للتيارات الخارجية من نفس النقطة.



وهكذا يمكننا صياغة القاعدة الأولى في العلاقة التالية:

وبتطبيق المعادلة السابقة نجد أن :

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$\frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt} = \frac{dq_3}{dt} + \frac{dq_4}{dt}$$

$$\frac{d}{dt}(q_1 + q_2) = \frac{d}{dt}(q_3 + q_4)$$

$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4$$

وهكذا يعتبر هذا القانون صورة لقانون حفظ الشحنة ، وغالبا ما تسمى هذه العلاقة بقاعدة التفرع وبشكل عام تستخدم قاعدة التفرع في تحليل دارة ما (n-1) من المرات حيث n ترمز إلى عدد نقاط التفرع في الدارة.

٢ - ٤ - ٢ القاعدة الثانية (مبدأ حفظ الطاقة) :

وتنص على أن المجموع الجبري لفروق الجهد عبر عناصر الدارة الكهربائية العروة يساوي صفراً، وتشمل عناصر الدارة المقاومات والقوة الدافعة الكهربائية والمتسعات في حال وجودها. أما العرو فتعبر عن أي مسار مغلق عبر الدارة الكهربائية.

وبشكل عام فإن :

$$\boxed{\sum \Delta V = zero}$$

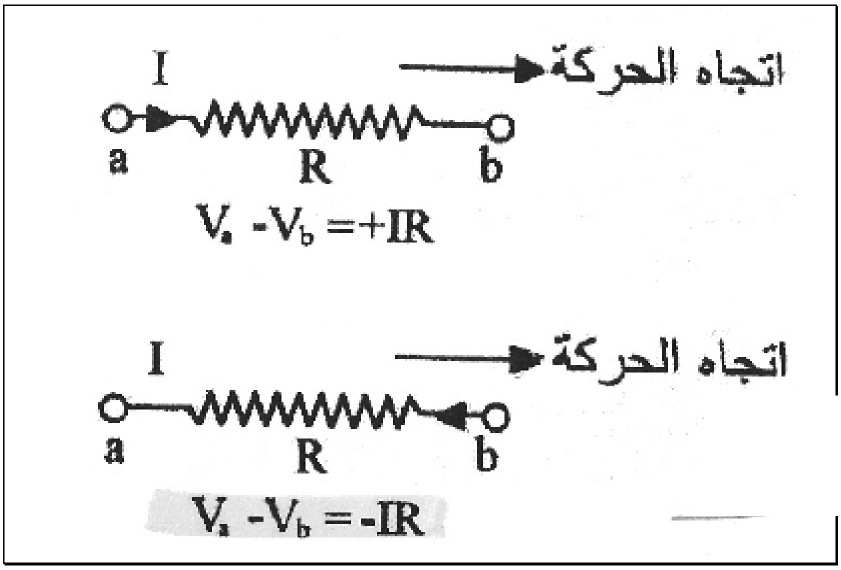
وتمثل العلاقة السابقة تحرك الشحنات الكهربائية خلال عروة في أي جزء من أجزاء الدارة الكهربائية مما يعني أنه أثناء حركتها يجب أن تكتسب طاقة وتفقدها بنفس المقدار. حيث تفقد الطاقة بنقصان الجهد الكهربائي عند مرورها في المقاومة أي IR – أو يبذل شغل على الشحنة الكهربائية لتتحرك باتجاه معاكس (من القطب السالب للموجب في البطارية) في مصدر الطاقة.

وليتم استخدام القاعدة الثانية بشكل صحيح نتبع الأسس التالية عندما نقوم بتحليل الدارات الكهربائية.

(أ) فرق الجهد بين طرفي مقاومة:

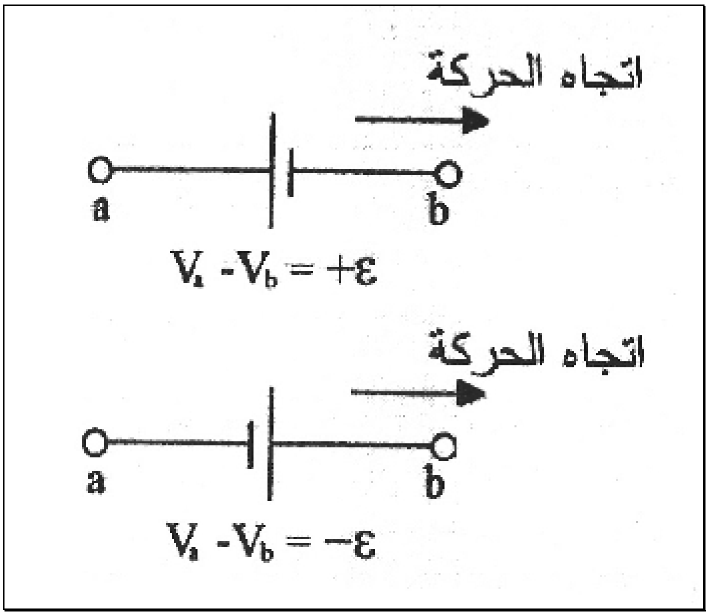
لإيجاد فرق الجهد بين نقطتين a و b ($V_a - V_b$) نفترض بأننا نتحرك عبر المقاومة من النقطة a إلى النقطة b فإذا كان اتجاه انسياب التيار

مع اتجاه الحركة فإن فرق الجهد يساوي (IR +) في حين إذا كان اتجاه تدفق التيار في اتجاه معاكس للحركة يكون فرقا الجهد مساويا لـ (-IR) كما في الشكل التالي :



(ب) فرق الجهد بين قطبي مصدر كهربائي:

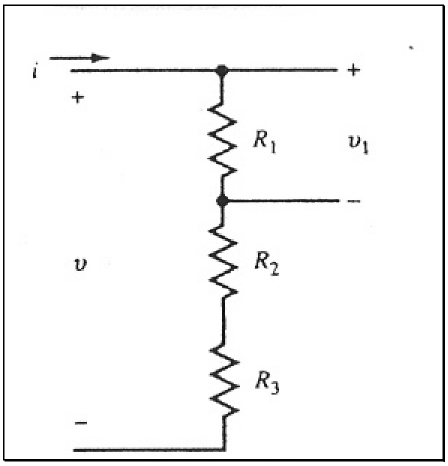
يكون فرق الجهد بين طرفي المصدر مساويا للقوة الدافعة الكهربائية e إذا تحركنا من القطب الموجب للسالب عبر المصدر من القطب السالب للموجب.



وغالبا ما تستخدم القاعدة الثانية حسب الحاجة. بحيث يكون عدد المعادلات المستقلة في تحليل الدارة الكهربائية مساويا لعدد الكميات المجهولة.

٢ - ٥ تقسيم الجهد:

إذا تم توصيل مجموعة من المقاومات على التوالي كما في الشكل التالي فإنه يطلق عليها مجزيء الجهد ويمكن تطبيق نفس المفهوم باستخدام معاوقات على التوالي.

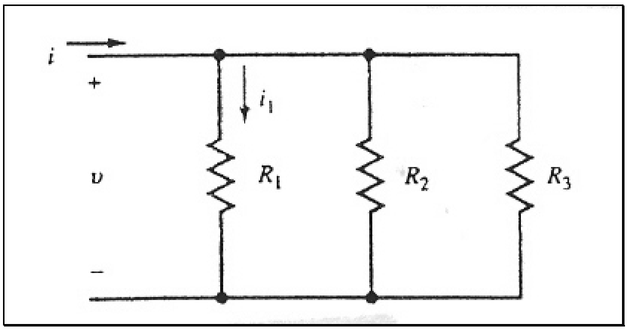


حيث : $u = i(R_1 + R_2 + R_3) \quad , u_1 = iR_1$

$$, u_1 = u\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}\right)$$

٢ - ٦ تقسيم التيار:

ينتج عن توصيل عدة مقاومات على التوازي ومجزئ التيار كما في الشكل التالي وقيمة التيار الفرعي i_1 بالنسبة للتيار الكلي i يبين وظيفة المجزئ.



$$i=\frac{u}{R_1}+\frac{u}{R_2}+\frac{u}{R_3} \qquad and \qquad i_1=\frac{u}{R_1}$$

$$\frac{i_1}{i}=\frac{1/R_1}{1/R_1+1/R_2+1/R_3}=\frac{R_2R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}$$

ولمجزيء التيار ذو الفرعين نحصل :

$$\frac{i_1}{i}=\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

الموصلات والعوازل

تتميز المواد الموصلة، بتوافر عدد وافر، من الإلكترونات الحرة في تركيبها، وهذه الإلكترونات الحرة، يمكن تحريكها بسهولة، ببذل شغل، من مصدر مناسب للطاقة الكهربية، ويمكن، أيضاً، تعريف المواد الموصلة، بأنها تلك المواد التي لها مقاومة كهربية صغيرة جداً، فمقاومة سلك من النحاس طوله ١٠ أقدام، على سبيل المثال، تقل عن أوم واحد؛ عادة تستخدم أسلاك من المواد الموصلة، لتوصيل أطراف مصدر الجهد الكهربي، بأطراف الجهاز

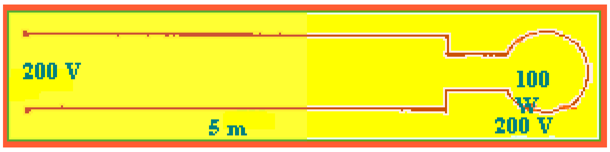
أو المعدة، المراد تغذيتها بالطاقة الكهربية، من دون فقد جزء من الطاقة الكهربية المخزونة، أو المتولدة من مصدر التغذية.

تتميز المواد العازلة، بعدم وجود إلكترونات حرة في تركيبها، ويصعب فصل الإلكترونات الموجودة في مدارات، حول ذرات تلك المواد، إلا في أحوال خاصة، وتوفير طاقة عالية جداً، ويمكن تعريف المواد العازلة، بأنها تلك المواد، التي لها مقاومة كهربية تزيد على بضعة ملايين أوم؛ ومن أمثلة هذه المواد، الهواء، والزجاج، والبلاستيك، والمطاط، والقطن، وهي تستخدم عادة لفصل، أو عزل الموصلات الكهربية، وكذلك لمنع انتقال الإلكترونات، أو التيار الكهربي، من موصل إلى أي جسم آخر.

هناك بعض العناصر الطبيعية، وبعض المواد المركبة، لها خواص كهربية متوسطة، بين الخواص الكهربية للمواد الموصلة، والخواص الكهربية للمواد العازلة؛ يطلق على هذه المواد أشباه الموصلاتSemiconductors ، وتلك المواد، لها استخدامات عديدة ومهمة جداً، وتعد القاعدة الأساسية، التي ارتكز عليها التقدم التكنولوجي السريع، لعالم الإلكترونيات.

يستخدم الموصل الكهربي، كما سبق توضيحه، لتوصيل الطاقة الكهربية، من مصدرها، إلى الجهاز أو المعدة، المطلوب تغذيتها بالجهد الكهربي، وعلى سبيل المثال، توصيل مصباح كهربي قدرته ١٠٠ وات، بمصدر للجهد يوفر ٢٠٠ فولت، وهذا يعني، أنه لكي يضئ المصباح الإضاءة السليمة، يلزم أن ينطبق على طرفيه فرق جهد ٢٠٠ فولت، ويمر به تيار شدته ٠,٥ أمبير؛ لكي يتحقق ذلك، يلزم توصيل المصدر الكهربي، والمصباح، بسلك ذي مقاومة صغيرة، بحيث يكون فرق الجهد الواقع على السلك قليلاً، لا يؤثر في قيمة الجهد المطبق على طرفي المصباح؛ الشكل الرقم ١٣

توصيل مصباح بسلك مقاومته ١ أوم/ متر الشكل الرقم ١٣



، يوضح طريقة توصيل مصدر تغذية كهربية، جهده ٢٠٠ فولت، بمـصباح كهربي، قدرته ١٠٠ وات، بسلك مقاومته ١ أوم، لكل ١٠ أمتار من الطول؛ تحسب القدرة P ، من المعادلة:

$$P = I V$$

$$100 = I \times 200$$

$$I = 0,5 \text{ Amper}$$

هذا التيار، يسبب فقداً في الجهد V_d يساوي:

$$V_d = 0,5 \times 1$$

$$=0.5 \text{ Volt}$$

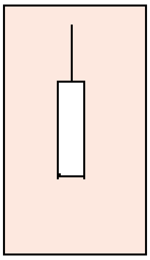
ويكون فرق الجهد، المطبق على طرفي المصباح، عبارة عن الباقي:

$$200-0.5=199.5 \text{ Volts}$$

وهذا الجهد، يناسب تماماً العمل السليم للمصباح، ويـوفر الإضـاءة القوية منه؛ لكن إذا ازدادت مقاومة سلك التوصيل، وأصبحت ١٠٠ أوم مثلاً، فإن الفرق في الجهد، يكون ٥٠ فولت، والباقي ١٥٠ فولت؛ هذا لا يناسـب العمل السليم للمصباح، وينتج إضاءة ضعيفة، إضافة إلى أن هنـاك طاقـة مفقودة، خلال عملية التوصيل، لم يستفد منها، ولها آثار ضارة، على الدائرة الكهربية.

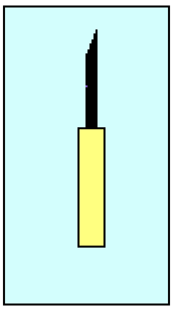
تصنع معظم أسلاك التوصيل الكهربـــي، مـــن مـــادة النحـــاس، ذات المقاومة القليلة جداً، وهناك بعض الأسلاك المصنوعة، مـــن الألومنيـــوم أو الفضة، تستخدم لأغراض خاصة؛ يكون سلك التوصيل منفرداً، الشكل الـــرقم ١٤ ،

السلك المفرد الشكل الرقم ١٤



أو مجموعة أسلاك رفيعة مجدولة، الشكل الرقم ١٥

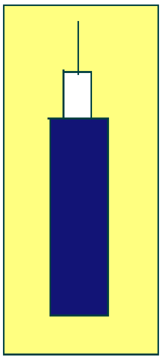
السلك المجدول الشكل الرقم ١٥



النوع المجدول يكون أكثر مرونة، ومقاومة للكسر، من النوع المفرد، وتكون مساحة مقطع السلك المجدول، هي مجموع مساحات مقاطع الأسلاك الرفيعة المكونة للجديلة.

يتكون الكابل cable ، من مجموعة من أسلاك التوصيل، تتكون من سلكين، أو أكثر بينها مادة عازلة، وأشهر أنواع الكوابل وأكثرها استخداماً، الكابل المحوري Coaxial cable، الشكل الرقم ١٦

السلك المحوري الشكل الرقم ١٦



، حيث يكون الموصل الداخلي، أحد أسلاك التوصيل، وتكون الشبكة المجدولة، المحيطة بالموصل الداخلي، هي الموصل الثاني، الذي يمثل في الوقت نفسه، حاجباً يمنع تداخل المجالات الكهرومغناطيسية، غير المرغوب فيها، مع الإشارات الكهربية المفيدة، التي تسري في الموصل الداخلي.

لمنع حدوث قصر في الدوائر الكهربية، أو لمنع اتصال الأسلاك الكهربية مع أسلاك كهربية أخرى، أو مع أي مكون، أو نقطة موصلة أخرى من الدائرة، يلزم تغطية السلك الموصل، بمادة عازلة لها، مقاومة عالية القيمة، فالأسلاك الرفيعة جداً، تغطى بطبقة من طلاء، عازل مثل "الإنامل". أما الأسلاك، ذات القطر الأكبر نسبياً، فتغطى محيطها بمادة عازلة، عادة ما تكون مادة بلاستيكية، أو مطاطية، أو قطنية، وغالباً ما يحاط السلك الموصل، بأكثر من طبقة من المواد العازلة المختلفة، إذا كان يحمل تياراً كبيراً، أو كان فرق الجهد بين السلك الموصل، والمكونات القريبة منه كبيراً.

غالباً ما تمثل أسلاك التوصيل، في الدوائر الكهربية المعقدة، مشكلة كبيرة، نظراً لتداخلها وصعوبة تمييزها وتنسيقها، ونتيجة لذلك، تم تطـوير تقنية جديدة، أطلق عليها تقنية الـدوائر الكهربيـة المطبوعـة، Printed circuits، وفيها يتم الاستغناء عن معظم أسلاك التوصيل المستخدمة للربط بين مكونات الدائرة الداخلية، وتستخدم بدلاً من أسلاك التوصيل، مسارات من الفضة أو النحاس، مطبوعة على رقيقة من مـادة عازلـة، ويـتم تركيـب المكونات بواسطة اللحام مباشرة على النقط، المخصصة لها مسبقاً على هذه المسارات؛ تتميز الدوائر الكهربية المطبوعة بالحجم الصغير المدمج، وجودة عالية للموصلات الكهربية.

مكونات الدوائر الكهربية:

تتركب معظم الدوائر الكهربية المعروفة، من عناصر متعددة يمكـن، أن تنقسم إلى قسمين رئيسيين:

١. العناصر السلبية مثل: المقاومـات، والمكثفـات، والملفـات، وأسلاك التوصيل، والمفاتيح المختلفة، والمنـصهراتFuses ، ومصابيح الإضاءة المختلفةPilot lamps ، ومصادر التغذية... الخ.
٢. العناصر الإيجابية، التي تنقسم أساساً إلي:

أ. الصمامات، وهي قديمة، ولم تعد شائعة الاستخدام إلا في حالات خاصة ونادرة.

ب. أشباه الموصلات، مثل الوصلات الثنائية،Diodes ، والثلاثية، Transistors، والدوائر المتكاملة بأنواعها المختلفة.

المقاومات :Resistors

في كثير من تطبيقات الدوائر الكهربية، تظهر الحاجة إلى استخدام مقاومة، لتقليل التيار الكهربي المار في جزء معين من الدائرة، أو لخفض فرق الجهد المطبق على جزء معين من الدائرة؛ تعد المقاومات هي أكثر مكونات الدوائر الكهربائية شيوعاً.

يتم تصنيع المقاومات بطرق مختلفة، أكثرها انتشاراً المقاومات السلكية، والمقاومات الكربونية؛ تنتج المقاومات بقيم متفاوتة، تتراوح من كسر من الأوم، إلى بضعة ملايين من الأوم، وذات قدرات تتراوح من كسر من الوات، إلى بضعة مئات من الوات؛ تعبر قدرة المقاومة، عن الطاقة الكهربية التي يمكن أن تبددها المقاومة بدون أن تتلف.

تستخدم المقاومات السلكية، في الاستخدام الذي يستدعي تبديد قدرة تزيد علي ٥ وات، أما إذا كانت القدرة أقل من ٢ وات، فتفضل المقاومات الكربونية، حيث إن حجمها أصغر، وتكلفتها أقل، كما يمكن إنتاج كلا النوعين بقيم ثابتة، أو بقيم متغيرة، يمكن ضبطها، عند أي قيمة تتراوح بين الصفر وأقصى قيمة للمقاومة، وعادة ما تستخدم المقاومات المتغيرة كمجزئات للجهد. يستخدم كود الألوان، لتحديد قيم المقاومات، وخاصة المقاومات صغيرة الحجم التي يصعب الكتابة عليها، فتعطي الألوان القيم الموضحة في الجدول الرقم ١

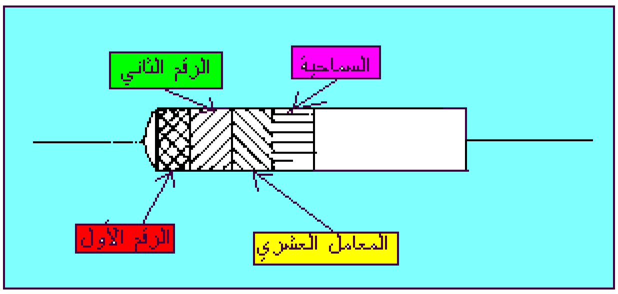
الجداول

الجدول الرقم ١
كود الألوان للمقاومات اللاسلكية

اللون	القيمة	اللون	القيمة
الأسود	صفر	الأخضر	5
البني	1	الأزرق	6
الأحمر	2	البنفسجي	7
البرتقالي	3	الرمادي	8
الأصفر	4	الأبيض	9

يتم وضع هذه الألوان كشرائح متوازية، تبدأ من الطرف الأيسر للمقاومة، انظر الشكل الرقم ١٧

كود ترقيم المقاومات الشكل الرقم ١٧



؛ وتوضح الشريحة أ الرقم الأول من قيمة المقاومة، والشريحة ب الرقم الثاني منها، بينما توضح الشريحة ج المعامل العشري، الذي يوضح عدد الأصفار، بعد الرقمين المحددين بالشريحتين أ، ب؛ أما الشريحة د فهي توضح درجة السماحة، Tolerance ، كما تعبر عن الاختلاف المقبول بين القيمة الفعلية للمقاومة، والقيمة المحددة عليها طبقاً لكود الألوان، وهذه الشريحة تكون باللون الفضي، إذا كانت السماحة ± ١٠ %، وباللون الذهبي إذا كانت ± ٥ % فقط، أما إذا لم تكن هناك الشريحة د، فهذا يعني أن السماحة ± ٢٠ %.

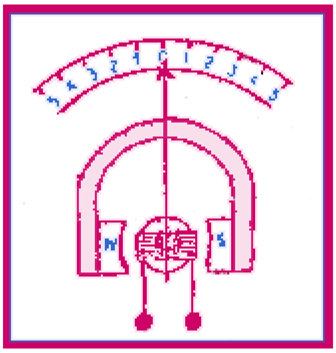
هناك أنواع عديدة أخرى من المقاومات، من أهمها المقاومات الحرارية، التي يطلق عليها "ثرمستور"Thermestor ، وهي مقاومة تتغير قيمتها في الدائرة الكهربية طبقاً لدرجة الحرارة؛ ومنها أيضاً، المنصهرات، وهي مقاومة خاصة ذات قيم صغيرة، تنصهر إذا زاد التيار المار بها على قيمة معينة، بهدف حماية بقية مكونات الدائرة، فإذا زادت شدة التيار الكهربي عن القيمة المسموح بها، ينصهر المنصهر، وينقطع التيار عن الدائرة، حتى يمكن دراسة سبب ارتفاع التيار ومعالجته.

القياسات الكهربية

المقياس ذو الملف المتحرك :

تعتمد فكرة المقياس ذي الملف المتحرك، على القوة المؤثرة، على أي سلك يحمل تياراً كهربياً، يوجد في منطقة، يؤثر فيها مجال مغناطيسي مناسب، وفي حالة ثبات شدة المجال المغناطيسي، فإن القوة المؤثرة على السلك تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربي، المار في هذا السلك. الشكل الرقم ٢٠

المقياس ذو الملف المتحرك   الشكل الرقم ٢٠



يوضح رسماً تخطيطياً لمقياس ذي ملف متحرك؛ التيار يمر في عدد كبير من اللفات السلكية، ذات المقاومة البسيطة، ملفوفة على إطار من معدن خفيف الوزن، وقابل للحركة الحرة، من دون معوقات على محور مركزي؛ تقع هذه الملفات في حقل مغناطيسي، ناشئ عن مغناطيس دائم قوي، ويرتبط مع الملف المتحرك، مؤشر مصنوع من مادة خفيفة الوزن، يتحرك طرفه على تدريج خاص، موضح عليه القيم الكهربية المطلوب قياسها، وعند مرور التيار الكهربي بين النقطتين ١، ٢ تتولد قوة كهربية، تؤثر على الملف، وتدفعه للدوران حول مركزه، وهذا الدوران يتناسب مع القوة المحدثة له، التي تتناسب بدورها مع شدة التيار المار في الدائرة؛ أي أن زاوية دوران الملف المتحرك، تتناسب مع شدة التيار المار بين النقطتين ١، ٢، وهذا يؤدي إلى انحراف المؤشر بزاوية، هي زاوية دوران الملف المتحرك نفسها، وبتقسيم قوس التدريج إلى مسافات مناسبة، يمكن ترقيم تلك المسافات، بحيث تعبر مباشرة عن الكمية الكهربية المطلوب قياسها.

يستخدم مبدأ المقياس ذي الملف المتحرك، في تصميم الكثير من أدوات قياس الكميات الكهربية المختلفة، التي يطلق عليها أسماء مختلفة، منها "الجلفانومتر Galvanometer" وهو مقياس شديد الحساسية، يستخدم لقياس القيم الصغيرة جداً للتيار الكهربي، تصل في بعض الأحيان، إلى قياس

كسر من الميكرو أمبير، باستخدام الجلفانومتر المعملي، ذي الملف المعلق، والعدسة المكبرة لقراءة الانحراف الصغير جداً للمؤشر، كما يطلق اسم الجلفانومتر البالستي، على الجلفانومتر الخاص المستخدم في قياس التيارات الصغيرة جداً، التي توجد لحظياً فقط، توجد خلال فترات لا تتعدى أجزاء من الثانية .

مقياس شدة التيار الكهربي Ampere meter

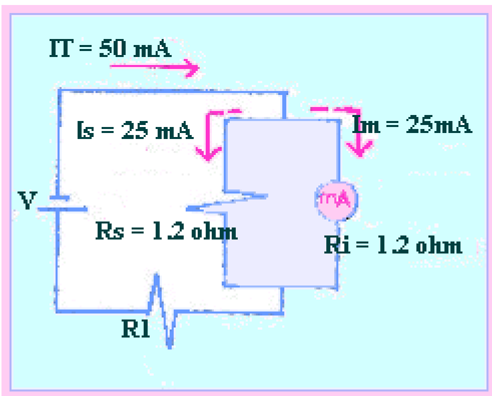
يستخدم المقياس ذو الملف المتحرك، لقياس تيار كهربي، تتراوح شدته بين الأمبير، والميكروأمبير؛ وعند قياس شدة التيار الكهربي يجب ملاحظة الاعتبارات الآتية :

١. يجب توصيل طرفي المقياس، وهما في الوقت نفسه، طرفا الملف المتحرك، على التوالي، في الجزء المحدد من الدائرة الكهربية، المطلوب قياس شدة التيار، المار بها، حيث سيتناسب انحراف مؤشر المقياس، مع شدة التيار المار في الملف المتحرك، وهو نفسه التيار المار في الدائرة، حيث إن الدائرة المتصلة على التوالي، يمر بها تيار ثابت.
٢. يجب مراعاة الاتجاه الصحيح، لمرور التيار الكهربي في المقياس، وخاصة عند قياس التيار المستمر، ذي الاتجاه الثابت، لتجنب حدوث آثار ضارة عند التوصيل في الاتجاه الخاطئ .
٣. يلزم أن تكون المقاومة، الداخلية لمقياس التيار صغيرة جداً، وتكون في معظم الأحيان، أقل من أوم واحد، وذلك حتى لا تؤثر هذه المقاومة، في رفع قيمة المقاومة الكلية للدائرة، المطلوب قياس التيار المار بها، وبذلك تنخفض شدة التيار المار في الدائرة، وتكون قراءة المقياس قراءة خاطئة.

يمكن استخدام مقياس التيار الكهربي الواحد، لقياس قيم مختلفة من شدة التيار، تتراوح بين القيم الصغيرة جداً، والكميات الكبيرة، وذلك باستخدام مقاومات، ذات قيم دقيقة، تركب على التوازي، مع مقاومة الملف المتحرك، ويطلق على هذه المقاومات الخاصة، R_s مقاومة التوازي للملف Shunt resistance، و يتم اختيار قيمة هذه المقاومة، بحيث يمر فيها الجزء الأكبر، من التيار الكهربي، وتمر نسبة بسيطة فقط منه، في الملف المتحرك، الذي ينحرف بزاوية تتناسب مع شدة التيار البسيط المار خلاله، ولكن يتم ترقيم أقسام التدريج، بالقيم التي يتم حسابها، باستخدام قانون أوم، والتي تعبر عن شدة التيار الكلي، المار في الدائرة، الذي تم تقسيمه إلى جزأين أحدهما يمر في مقاومة التوازي، والآخر يمر في الملف المتحرك؛ ولتوضيح ذلك ندرس المثال التالي:

مطلوب قياس شدة التيار المار في المقاومة R_1، انظر الشكل الرقم ٢١،

استخدام مقاومة التوازي لقياس التيار   الشكل الرقم ٢١

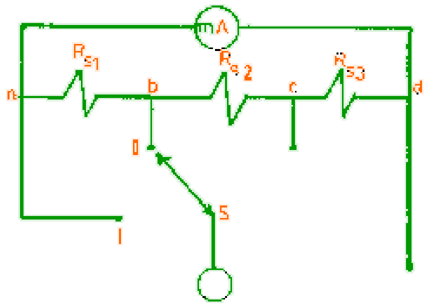


بواسطة مقياس لشدة التيار، لا يتحمل ملفه المتحرك أكثر من ٣٠ مللي أمبير، بينما التيار المتوقع مروره في المقاومة، R_1 يزيد على ذلك؛ مقاومة الملف المتحرك R_m، تساوي ١,٢ أوم، والتيار الكلي المار في الدائرة I_T

يساوي ٥٠ مللي أمبير. ولنجاح القياس، بواسطة مقياس شدة التيار، مع الحفاظ على سلامته، وبدقة قياس مناسبة، يتم توصيل مقاومة التوازي R_S ، عبر طرفي الملف المتحرك للمقياس، وتكون قيمتها ١,٢ أوم، مساوية لمقاومة الملف المتحرك؛ بذاك ينقسم التيار إلى قسمين متساويين، يمر قسم منهما في الملف المتحرك، لينحرف المؤشر، الانحراف المناسب لمرور تيار، شدته ٢٥ مللي أمبير، ويمر النصف الثاني من التيار، خلال مقاومة التوازي، وللحصول على القياس السليم للتيار، تضاعف قيمة التيار المقاس بواسطة المقياس.

الشكل الرقم ٢٢،

فكرة قياس مستويات مختلفة من التيار   الشكل الرقم ٢٢



يوضح كيفية استغلال فكرة مقاومة التوازي R_S ، بصورة مبتكرة، لتزويد مقياس شدة التيار، بإمكانية قياس مستويات مختلفة من شدة التيار، حيث S هو مفتاح اختيار مستوى القياس، الذي يناسب شدة التيار المراد قياسها، وبواسطة مفتاح الاختيار S ، تختار قيمة R_S المناسبة .

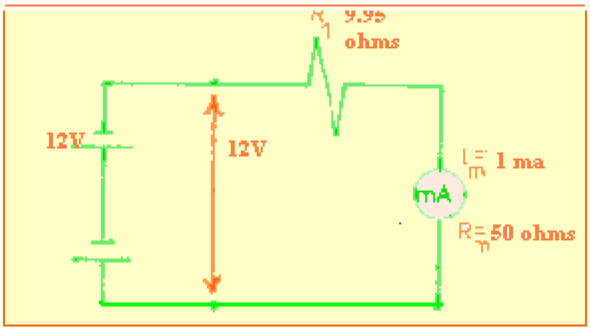
مقياس فرق الجهد الكهربي **Voltmeter**

يعتمد المقياس ذو الملف المتحرك، على أن القوة الواقعة على الملف المتحرك، نظراً لوقوعه في مجال مغناطيسي ثابت القيمة، تتناسب مع شدة التيار المار في الملف؛ إلا أنه يمكن استخدامه، لقياس فرق الجهد، بإضافة

مقاومة، ذات قيمة كبيرة، على التوالي مع الملف المتحرك، ويجب أن تكون قيمة تلك المقاومة، أكبر من مقاومة الملف المتحرك، ويطلق على تلك المقاومة، في هذه الحالة "المقاومة المضاعفة" multiplier resistance **و يطلق على المقياس، مقياس فرق الجهد** Voltmeter.

يوصل مقياس فرق الجهد، في الدائرة الكهربية، على التوازي بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما، الشكل الرقم ٢٣،

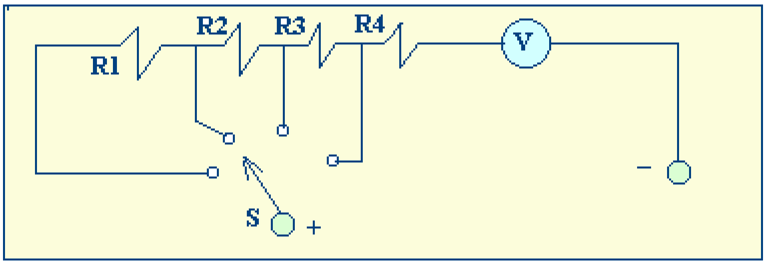
قياس فرق الجهد   الشكل الرقم ٢٣



لذلك يجب أن تكون قيمة المقاومة الموصلة على التوالي، مع الملف المتحرك، كبيرة جداً، حتى لا يكون لها أي تأثير يذكر في قيمة مقاومة الدائرة، المراد قياس فرق الجهد بين طرفيها.

يمكن استخدام مقياس واحد لقياس فرق الجهد، لمستويات مختلفة، من الجهود الكهربية، وذلك بتغيير قيمة المقاومة المضاعفة، Multiplier resistance **لتتناسب قيمتها، مع مستوى فرق الجهد المطلوب قياسه، الشكل الرقم ٢٤.**

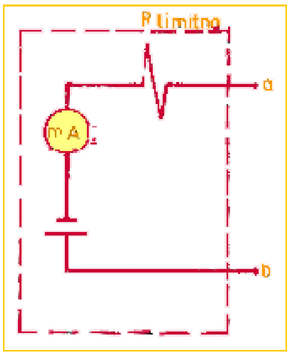
استخدام المقاومة المضاعفة لقياس الجهد   الشكل الرقم ٢٤



مقياس المقاومة الكهربية Ohmmeters ، وقياس الاتصال Continuity

يتكون مقياس المقاومة، بصفة أساسية، من مقياس ذي ملف متحرك، مزود ببطارية، ذات جهد كهربي ثابت، ومقاومة لتحديد شدة التيار الكهربي، كما هو موضح في الشكل الرقم ٢٥

قياس المقاومة   الرقم٢٥

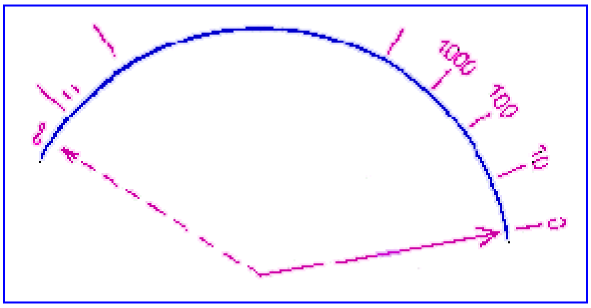


؛ يوصل جزء الدائرة الكهربية، المطلوب قياس مقاومته، بين الطرفين a، b لمقياس المقاومة، مع مراعاة، أن تكون جميع مصادر التغذية الكهربية، بالدائرة الخاضعة للقياس، مفصولة، ويكون مصدر التغذية الكهربية الوحيد، هو البطارية المتصلة مباشرة بمقياس المقاومة.

عند عدم توصيل أي مقاومة، بين الطرفين a، b، لا يمر تيار كهربي، في الملف المتحرك، وبالتالي لا يتحرك المؤشر، وفي هذه الحالة تكون العلامة المواجهة لطرف المؤشر، على التدريج، مكافئة لمقاومة لا نهائية،

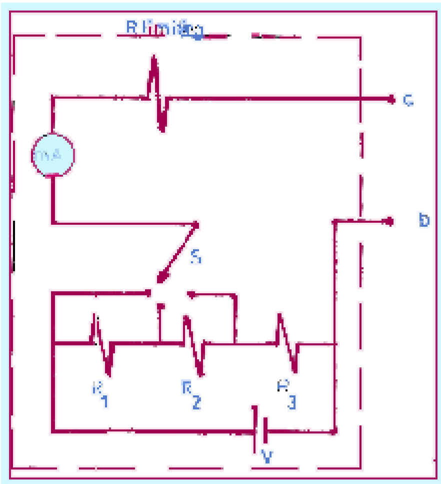
وفي حالة توصيل سلك مقاومته صفر، بين الطرفينa، b، تكـون العلامـة المواجهة لطرف المؤشر، على التدريج، مكافئة لمقاومة قيمتها صفر، الشكل الرقم ٢٦.

علامات التدريج لمبين مقياس المقاومة الشكل الرقم ٢٦



يمكن استخدام مقياس المقاومة، لقيـاس مـستويات مختلفـة، مـن المقاومات الكهربية، باستخدام فكرة مجزئ الجهـد، بتوصـيل فـرع مـن المقاومات المتصلة على التوالي، الشكل الرقم ٢٧،

قياس مستويات جهد مختلفة الشكل الرقم ٢٧



هذا الفرع يتصل على التوازي مع البطارية الخاصة بالمقياس، وبواسـطة المفتاح S يتم اختيار الجهد المناسب، لمستوى المقاومات المطلوب قياسها.

كثيراً ما تتعرض الدوائر الكهربية لأعطـال، يلـزم الكـشف عنهـا، لإصلاحها، ومن أكثر الأعطال الشائعة للدوائر الكهربية، انفصال الاتـصال، بين أي نقطتين في الدائرة أو انقطاعه؛ لاكتشاف هذا العطل، يستخدم مقياس المقاومة بأسلوب اختبار الاتصال، أي قياس المقاومة بين النقط المتـصلة، والتأكد من أن المقياس، يشير إلى مقاومة قيمتها صفر أوم.

قياس القدرة الكهربية، والمقياس متعدد المهام multimeters

كما سبق توضيحه، فإن القدرة الكهربيةP ، في دائرة كهربية معينـة، تحسب من المعادلة:

$$P = I V$$

$$P = I^2R$$ و

أي أنه يمكن حساب القدرة الكهربية لهذه الدائرة بقياس شدة التيـار المار في الدائرة، وفرق الجهد المطبق بين أطرافها، أو المقاومة الكلية لتلك الدائرة. هذا النوع من القياسات، مطلوب في معظم الأحـوال، ولـذلك يـتم تصنيع نوع من أجهزة القياس، ذات الملف المتحرك، يمكن بواسطة مفتـاح خاص بها، اختيار نوع العمل، وتحويل المقياس ليتناسب، مع قيـاس شـدة التيار، أو فرق الجهد، أو المقاومة الكهربية، ويطلق على هذا النـوع مـن أجهزة القياس، "المقياس المتعدد.Multimeter "

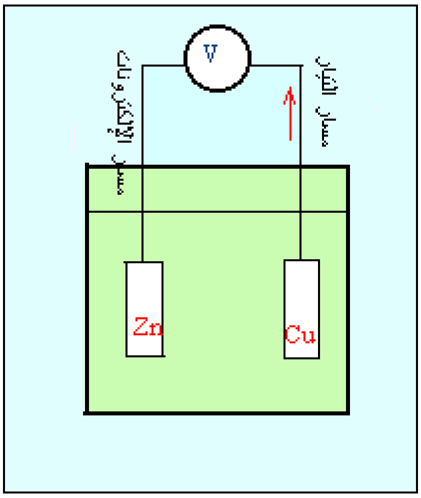
البطاريات مصدر للطاقة الكهربية

البطارية مجموعة من الخلايا الكيميائية، تحول الطاقة الكيميائية إلـى طاقة كهربائية، وهي تُعد مصدراً للجهد المستمر . D-C Voltage

خلية فولتايك Voltaic cell

عند وضع معدن ما، في محلول موصل للكهرباء، يعرف باسم "محلول إلكتروليتي electrolytic "مثل: المحاليــل الحمــضية، acid solution، أو المحاليل القاعدية، base solution، أو المحاليل الملحيـــة، salt solution؛ فإن المادة المعدنية، تكتسب جهداً كهربياً معيناً، نتيجة للتفاعــل الكيميــائي، الذي يؤدي إلى تبادل إلكتروني بين سطح المادة المعدنيـــة والمحلـــول؛ وإذا وضع معدنان مختلفان في المحلول الكهربي، سيكتسب كل منهما جهداً كهربياً مختلفاً، وهذا يعني حدوث فرق جهد كهربي بين المعدنين، فإذا تــم توصــيل دائرة كهربية، بين هذين المعدنين،عمل فرق الجهد الكهربي بينهما، على دفع تيار من الإلكترونات يتحرك من الطرف الأقل جهــداً، يعــرف باســم آنــود Anode، إلى الطرف الأعلى جهداً، يعرف باســم "كــاثود" cathode؛ فــي الشكل الرقم ٣٣

خلية فولتايك الشكل الرقم ٣٣



تنتقل الإلكترونات، من المحلول الكهربي المتأين، إلى لوح الخارصين، zinc، وتتجمع عليه؛ كما تنتقل الجزئيات الموجبة من المحلول المتأين، إلي لــوح النحاس لتتجمع عليه، فإذا تم توصيل دائرة كهربية بين الخارصين والنحاس، انتقلت الإلكترونات من لوح الخارصين خارجياً في الدائرة، إلى لوح النحاس، لتعادل الجزئيات الموجبة المتجمعة عليــه، وهكــذا يــستمر ســريان تيــار

الإلكترونات في الدائرة الخارجية، من الخارصين، الأنود، إلى النحاس، الكاثود، طالما استمر التفاعل الكيميائي داخل الخلية؛ ويمكن تلخيص التفاعل الذي يتم كالآتي:

تفاعل أكسدة oxidation

$$zn \rightarrow zn^{+2} + 2e^{-}$$

تفاعل اختزال Reduction

$$ci^{2} + zn^{+2} \rightarrow cu$$

الخلية الأولية، والخلية الثانوية

في الخلية الأولية، لا يمكن عكس اتجاه التفاعل الكيميائي في المحلول الكهربي، فعلى سبيل المثال يمكن أن يذوب الخارصين، في محلول كلور يد الأمونيوم، متفاعلاً معه، ولكن لا يمكن عكس اتجاه التفاعل لاستعادة الخارصين المذاب في محلول كلور يد الأمونيوم؛ من أمثلة الخلايا الأولية الخلايا الجافة.

في الخلية الثانوية، يمكن عكس اتجاه التفاعل الكيميائي في المحلول الكهربي، إذ يمكن للأقطاب أن تذوب متفاعلة في المحلول، وأثناء ذلك يسير التيار الكهربي في اتجاه معين في الدائرة؛ وفي حالة عكس اتجاه مرور التيار الكهربي، يمكن استرجاع مادة الأقطاب المذابة في المحلول الكهربي؛ عند ذوبان الأقطاب في المحلول، يقال إنه يتم تفريغ الخلية، d ischarging، وفي هذه الحالة يعادل التيار الكهربي، الشحنات الكهربية الناتجة أثناء التفاعل، أي أن الخلية في هذه الحالة يمكن استخدامها مصدراً للجهد الكهربي، أما في الحالة العكسية، عند انعكاس اتجاه التيار الكهربي لاسترجاع مادة الأقطاب، فيقال إنه يتم شحن الخلية Charging ، وفي هذه

الحالة يجب توفير التيار الكهربي من مصدر خارجي؛ من أمثلة تلك النوعية من الخلايا، الخلايا التي تستخدم ألواح الرصاص، ومحلول حامض الكبريتيك، التي تتكون منها البطاريات الحمضية، المستخدمة في السيارات.

مجموعة العناصر الكهروكيميائية

لتكوين الخلايا الكهروكيمائية، تستخدم بعض العناصر، التي يمكنها أن تكتسب جهداً كهربياً، عند وضعها داخل محلول موصل كهربي، وتعرف هذه العناصر، باسم مجموعة العناصر الكهروكيميائية؛ والجدول الرقم ٢،

الجدول الرقم ٢

الجهد الكهربي لبعض العناصر مقارنة بعنصر الهيدروجين

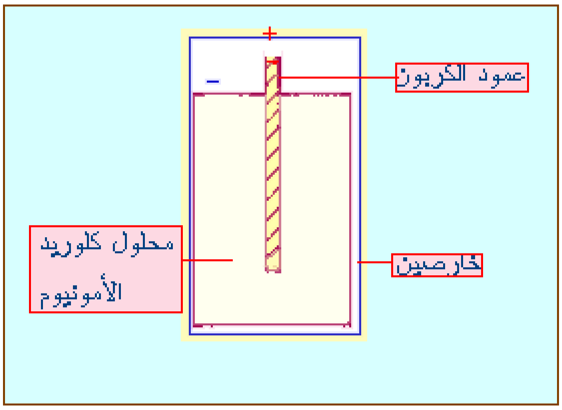
العنصر	الجهد بالفولت
ليثيوم	2,96
ماغنسيوم	2,40
الومثيوم	1,70
زنك (خاصين)	0,76
هيدروجين	صفر
النحاس	+ 0,35
الذهب	+ 1,36

يبين الجهد الكهربي لهذه العناصر، مقارنة بجهد عنصر الهيدروجين؛ ويبين فرق الجهد بين أي عنصرين من هذه المجموعة، جهد خلية كهربية نموذجية، تستخدم هذين العنصرين قطبين بها، فالعنصر الأقل جهداً، يكون هو القطب السالب للخلية، والعنصر الأعلى جهداً، يكون هو القطب الموجب للخلية، وعند الحاجة لفرق جهد كهربي أكبر من الجهد الذي يمكن توفيره من خلية واحدة، فإنه يمكن توصيل أكثر من خلية على التوالي، لتكوين بطارية، لها فرق الجهد الكهربي المطلوب بين أطرافها.

الخلية الجافة

يوضح الشكل الرقم ٣٤

العمود الجاف الشكل الرقم ٣٤



الخلية الجافة؛ التي تتكون من القطب السالب، وهو الوعاء الخارجي، المكون من مادة الخارصين، والقطب الموجب، وهو عمود من مادة الكربون، موجود في مركز الوعاء، ومعزول جيداً، حتى لا يمس وعاء الخارصين؛ والمحلول الكهربي وهو محلول كلور يد الأمونيوم، وحتى لا يكون في الحالة السائلة، يحوّل إلى عجينة من حبيبات الكربون ومسحوق ثاني أكسيد المنجنيز، ويحتفظ به في حالة رطبة؛ ولثاني أكسيد المنجنيز، دور آخر، إذ يتفاعل مع غاز الهيدروجين الناتج من التفاعل الرئيس، الذي يتجمع حول عمود

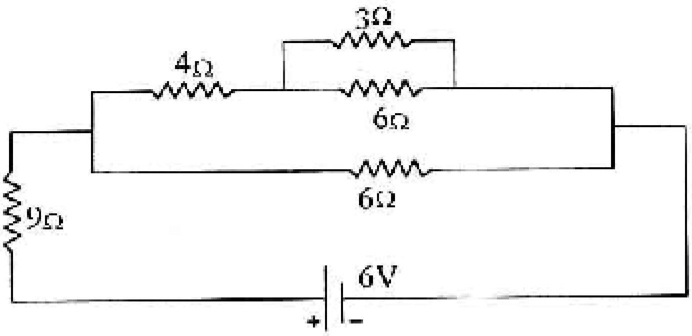
الكربون، فيقلل من الجهد الكهربي للخلية، وبالتخلص منه، يمكن الاستفادة من جهدها الكهربي لفترة أطول، ونظراً للتفاعل الداخلي، والجفاف التدريجي للمحلول الكهربي في الخلية الجافة، فإن صلاحيتها للعمل تنتهي مع مرور الوقت، حتى في حالة عدم توصيلها مع أي دائرة كهربية.

البطارية الحمضية

تستخدم البطاريات الحمضية عند الحاجة إلى شدة تيار كهربي مرتفعة، والخلية الحمضية، ذات أقطاب من مادة الرصاص، Lead acid cell، وهي الأكثر شيوعاً، فمثلاً: لبدء تشغيل محرك السيارة، نحتاج إلى تيار كهربي شدته من ٢٠٠ إلى ٣٠٠ أمبير، وهو تيار ضخم جداً، لا يمكن الحصول عليه إلا من بطارية حمضية. والخلية الواحدة، من الخلايا الحمضية، تنتج من ٢ إلى ٢،٢ فولت، وتوصل ست خلايا منها، لتكوين بطارية سيارة جهدها ١٢ فولت. وتعرف الخلايا الحمضية، بأنها خلايا ثانوية، أي أنها قابلة للشحن، وإعادة الشحن أكثر من مرة، ويتوقف عمرها الافتراضي على عدد دورات الشحن، والتفريغ، وكذلك التعرض لدرجات حرارة زائدة؛ كما تتميز البطاريات الحمضية بكمية التيار الكهربي الذي يمكن سحبه منها بصفة مستمرة، في وقت زمني محدد، بحيث يظل الجهد الكهربي مستقرا، أعلى من القيمة الاسمية لجهد البطارية.

تمارين

١ - احسب شدة التيار المار في الدائرة المبينة بالرسم مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية.



٢ - سلك مقاومة 3m ومساحة مقطعه $0.2\ cm^2$ وصل على التوالي في دائرة كهربائية فكانت شدة التيار المار فيه 0.6 A، عندما كان فرق الجهد بين طرفيه 1.8 Volt.

أ - احسب المقاومة النوعية لمادة السلك؟

ب - احسب التوصيلة الكهربائية لمادة السلك؟

الإجابة $(0.2 \times 10^{-4}\ .\ m\ ,\ 5 \times 10^{4}\ \ .^{-1}\ m^{-1})$

٣ - ثلاث مقاومات 3 , 8 ,24 متصلة على التوازي وكانت شدة التيار المار في المقاومة الأولى 2A.

أ - أوجد شدة التيار الكلي؟

ب - أوجد شدة التيار المار في المقاومة الثالثة؟

الإجابة (0.25 A, 3.0 A)

٤ - إذا كان لدينا ثلاث مقاومات متصلة على التوازي ومقدارها 10 ,5 ,2 وكان التيار المار في المجموعة هو 8A. أوجد مقدار شدة التيار المار في كل مقاومة.

الإجابة (5 A, 2A, 1A)

٥- عمود كهربائي إذا وصل قطباه بمقاومة خارجية قدرها 3، مر في الدائرة تيار شدته 0.3 A، وإذا وصل بمقاومة قدرها 8، مر في الدائرة تيار شدته 0.15A .

أ_ احسب فرق الجهد بين طرفي العمود في كل حالة؟

ب- أوجد القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية للعمود؟

الإجابة (0.9 V, 1.2 V, 2 , 1.5 V)

٦- بطارية مكونة من خمسة أعمدة متشابهة متصلة على التوالي، القوة الدافعة الكهربية لكل عمود منها تساوي 15 V، والمقاومة الداخلية 2، وصل قطبا البطارية بمقاومة قدرها 40.

أ- احسب القوة الدافعة الكلية للبطارية؟

ب- شدة التيار المار في الدائرة؟

الإجابة (75V , 1.5A)

٧- القوة الدافعة الكهربية لبطارية هي 10.6 V، وعندما وصل قطباها بسلك طويل مر تيار شدته 1 A، وهبط فرق الجهد بين القطبين إلى 8.48V.

٨- عمود قوته الدافعة الكهربية 1.5 V وصل طرفاه بمقاومة خارجية مقدارها 0.15 فكانت شدة التيار المار في الدائرة 2 A. فإذا استبدلت بهذه المقاومة مقاومة أخرى مقدارها أوم واحد.

إحسب شدة التيار

الإجابة (1.2 A)

٩-مثلث ABC ضلعة AB عبارة عن مقاومة 4 BC مقاومة 6، CA مقاومة 5. فإذا وصلت النقطة A بالقطب الموجب والنقطة B بالقطب السالب لعمود كهربائي قوته الدافعة الكهربائية 4V ومقاومته الداخلية

2، ثم وصلت النقطة C بالقطب السالب والنقطة B بالقطب الموجب لعمود كهربائي آخر قوته الدافعة 6 V ومقاومته الداخلية 3.

أوجد شدة واتجاه التيار المار في المقاومة 5.

١٠- عمود كهربائي قوته الدافعة 1.6 V ومقاومته الداخلية 2، وآخر قوته الدافعة 24V ومقاومته الداخلية 4. وصل القطبان الموجبان بمقاومة 6V. ووصل القطبان السالبان بمقاومة 8، فإذا وصلت مقاومة ثالثة 10 بين منتصفي المقاومتين السابقتين فما هو فرق الجهد بين طرفي المقاومة الثالثة.

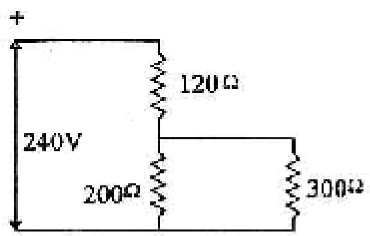
الإجابة (1.311 V)

١١- في الدائرة المبينة بالرسم أوجد:

أ- شدة التيار المار في كل مقاومة.

ب- فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة.

ج- شدة التيار المار في كل مقاومة.



الجواب (1A, 0.6A, 0.4A) (120V, 120V, 120V) (1A)

١٢- في الدائرة المبينة بالرسم أوجد شدة التيارات I_1, I_2, I_3 التي تمر في الأفرع (ab, cd, gh) على الترتيب.

الجواب: (2A, 1A, IA)

الباب الثالث

السعة الكهربائية والمتسعات

السعة الكهربائية والمتسعات

في سياق حديثنا سنتحدث عن الخصائص الكهربائية للمــادة وذلــك باستعراض بعض الأدوات التي لها القدرة على تخزين الطاقــة الكهربائيــة بصورة مجال كهربائي ناشئ عــن فــصل الــشحنات الكهربائيــة. فمعظــم التطبيقات العملية تعتمد المتسعات كعناصر أساسية وضرورية في الــدارات الكهربائية والالكترونية. فتــستخدم مــثلا فــي دارات الــضبط لمرســلات ومستقبلات الراديو والمرشحات المستخدمة في مزودات الطاقة وأيضا كنظام لحفظ الطاقة الكهربائية في مصابيح الوميض الالكتروني وغيــر ذلــك مــن التطبيقات.

٣ - ١ السعة الكهربائية:

تعتبر السعة الكهربائية مقياساً لمقدرة المتسع على خــزن الــشحنة الكهربائية وطاقة الوضع الكهربائية، وتعرف السعة الكهربائية C لموصل ما بأنها النسبة بين كمية الشحنة الكهربائية q التي يحملها الموصل إلى الجهد الكهربائي V الناشئ عن هذه الشحنة.

أي أن :

$$C = \frac{q}{V}$$

وتقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد. ويعرف الفاراد بأنــه ســعة جسم موصل يزداد جهده الكهربائي بمقدار (I V) عنــد شــحنه بــشحنة كهربائية مقدارها I كولوم وعليه فإن:

$$IF = \frac{IC}{IV}$$

ومن الناحية العملية تعد وحدة الفاراد كبيرة نسبيا، لذلك نستخدم أجزاء من وحدة الفاراد لأنه أكثر ملاءمة وأكثر شيوعا. فهناك مثلا وحدة الميكروفاراد بحيث ١ ميكروفاراد = 1×10^{-6} فاراد والبيكو فاراد بحيث ١ بيكو فاراد = 1×10^{-12} وهكذا.

مثال :

احسب سعة الكرة الأرضية باعتبارها موصل كروي نصف قطره 6.4×10^{6} م.

الحل :

الجهد الكهربائي لموصل كروي نصف قطره R يعطي بالعلاقة التالية

$$\boxed{V = k * \frac{q}{k}} :$$

حيث $k = \left(\frac{1}{4pe_0} \right) = 9 \times 10^{9}$ نيوتن م٢ / كولوم ٢ هي الشحنة التي يحملها الموصل.

$$= (10^{6} \times 6.4)(10^{-12} \times 8.85) \times 4p$$

= ٧١٢ ميكروفاراد.

وهكذا ترى أنه لو أخذنا موصلا صغيرا (0 R) فإن السعة الكهربائية ستكون صغيرة جدا مقارنة بسعة الكرة الأرضية ويتضح من هذا المثال أن وحدة الفاراد كبيرة نسبيا وغير عملية. لذا فنحن بحاجة ماسة لاستعمال أجزاء الفاراد كما ذكرنا.

٣ - ٢ المتسع الكهربائي:

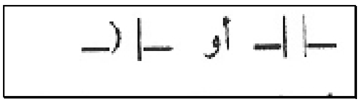
يتكون المتسع الكهربائي بشكل رئيسي من موصلين أو لوحين مشحونين بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين من حيث النوع. ويفصل اللوحين عن بعضهما إما الفراغ أو الهواء أو بعض المواد العازلة كالمطاط مثلا.

وبشكل عام يعتمد جهد موصل ما على مقدار الشحنة التي يحملها.

فوجود موصلين مشحونين يعني أن هناك فرق جهد بينهما، فإذا كان جهد الموصل الأول : a الذي يحمل شحنة موجبة q_+ يساوي (V_a) وجهد الموصل الثاني b الذي يحمل شحنة سالبة (q -) يساوي (V_b) فإن فرق الجهد بين الموصلين، ويتضح مما سبق أن المتسع الكهربائي يحمل شحنة صافية تساوي صفراً ، أي أنه متعادل كهربائيا ، والسعة الكهربائية c تساوي :

$$C = \frac{q}{V_a - V_b}$$

كما يرمز للمتسع الكهربائي ثابت السعة في الدارة الكهربائية بأحد الرمزين التاليين:



أما في حالة وجود إشارة السهم على المتسع : 

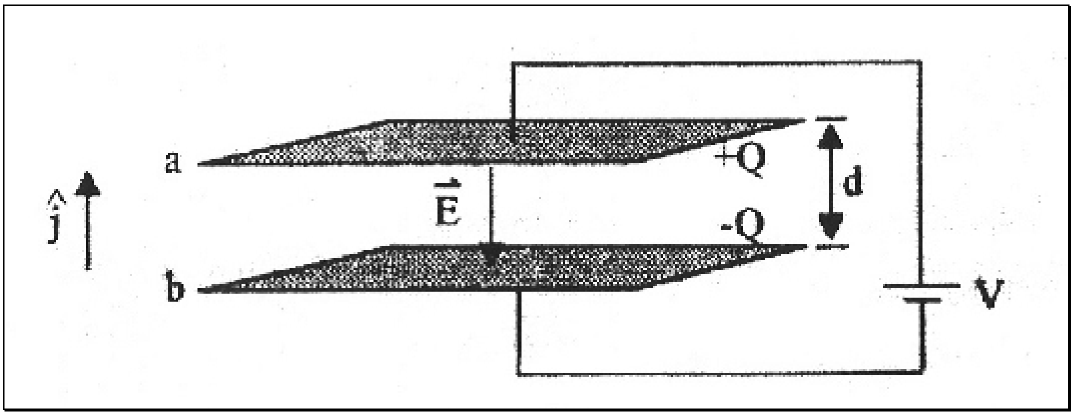
فيعني ذلك أن السعة الكهربائية متغيرة.

ومن ناحية عملية، هناك العديد من أنواع المتسعات التي تختلف في أشكالها وأحجامها بحيث تتلاءم والغاية التي أعدت من أجلها، فالنوع

المألوف والأكثر شيوعا يسمى بالمتسع ذي اللوحين المتوازيين، كما ويوجد أنواع أخرى منها المتسع الكروي والمتسع الأسطواني.

٣-٣ المتسع ذي اللوحين المتوازيين:

يتكون هذا النوع من المتسعات كما في الشكل التالي من لوحين مستويين ومتوازيين a و b يقابل أحدهما الآخر، يفصلهما إما الفراغ أو مادة عازلة.



وتكون المسافة بين اللوحين d صغيرة جداً بالمقارنة مع أبعاد كل من لوحي المتسع لدرجة أنه يمكن اعتبار كل منها صفحة لا نهائية الأبعاد. ويتم شحن أحد اللوحين a بشحنة موجبة (+q) والأخرى بشحنة سالبة (-q) مساوية للشحنة الموجبة بواسطة مصدر جهد ثابت V كالبطارية مثلا. فينشأ مجال كهربائي بين اللوحين يكون اتجاهه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، وتنتظم خطوط المجال الكهربائي في المنطقة الواقعة بين اللوحين كلما كان اللوحان أكثر قربا من بعضهما البعض بينما يكن المجال الكهربائي أقل انتظاما عند الأطراف نتيجة لتأثير الحواف.

وهكذا نجد أن المجال الكهربائي يكون منتظما وثابتا بين لوحي المتسع ومهملا حولهما ويعتمد المجال على الوسط الفاصل بين اللوحين المتوازيين.

وبناء على ما سبق تكون السعة الكهربائية للمتسع ذي اللوحين المتوازيين مساوية:

$$C = \frac{q}{V_b - V_a}$$

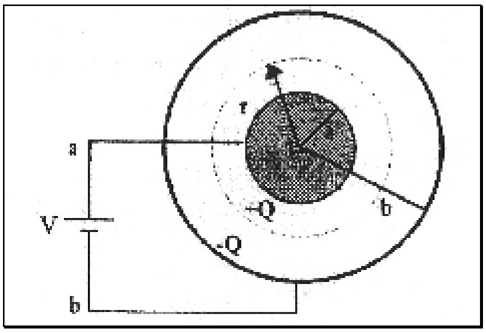
وباستخدام العلاقة

$$V_a - V_b = Ed$$

وكذلك نجد أن : $c = \frac{\epsilon_0}{d_a}$ فيتضح أن السعة الكهربائية تعتمد على الأبعاد الهندسية للموصلين المكونين للمتسع كالمساحة والبعد بين اللوحين ويعتمد السعة الكهربائية كذلك على نوع الوسط الفاصل بين الشحنتين الكهربائيتين ولكنها لا تعتمد على مقدار الشحنة الموجودة على أحد لوحي المتسع.

٣ - ٤ المتسع الكروي:

يتكون المتسع الكروي من موصل كروي داخلي نصف قطره a متحد المركز مع قشرة موصل كروي خارجي نصف قطرها b ويفصلها الهواء أو الفراغ كوسط عازل كما في الشكل التالي:



ويتم شحن الموصل الكروي الداخلي بشحنة موجبة بينما تشحن قشرة الموصل الخارجي بشحنة كهربائية سالبة مساوية للشحنة الموجبة بواسطة مصدر جهد ثابت V . وغني عن القول أن الشحنة الصافية على المتسع الكروي تساوي صفرا أي أنه متعادل كهربائيا وحيث أن كلا من الموصلين الكرويين يحمل شحنة كهربائية وأن فرق الجهد بينهما يساوي $(V_a - V_b)$ حيث جهد a جهد الموصل الكروي الداخلي بينما جهد قشرة الموصل الخارجي.

ويمكن التوصل على أن العلاقة بين فرق الجهد وقيمة الشحنة المتوزعة على طرفي الموصل بالعلاقة التالية:

$$V_a - V_b = kQ\left[\frac{b-a}{ab}\right]$$

وعليه تكون السعة الكهربائية للمتسع الكروي مساوية لـ :

$$C = \frac{Q}{V_a - V_b} = \frac{ab}{k(a-b)}$$

يتضح من العلاقة السابقة أن سعة المتسع الكروي تعتمد هي الأخرى علي الأبعاد الهندسية للكرتين وعلى الوسط الفاصل بينهما.

حالة خاصة:

عندما يكون نصف قطر قشرة الموصل الكروي الخارجي أكبر بكثيــر من نصف قطر الموصل الكروي الداخلي، أي a << b فإن:

$$C = \lim_{b\to\infty} \frac{ab}{k(a-b)}$$

بقسمة البسط والمقام على b نجد أن:

$$C = \lim_{b\to\infty} \frac{a}{k(1-\frac{a}{b})}$$

وحيث أن :

$$k = \frac{1}{4p \in_0}$$

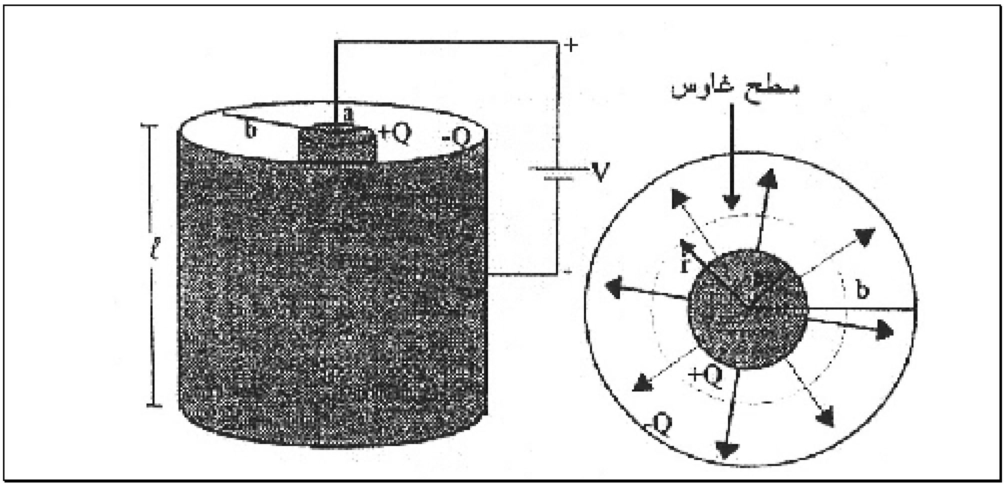
إذن : $c = 4p \in_0 a$

نستنتج مما سبق أن السعة الكهربائية لموصل كروي نصف قطــره a تساوي $(4p \in_0 a)$ هذا على اعتبار أن كرته الخارجية b تقع في اللانهايــة أي أن $b \leftarrow \infty$ وعندها ستكون $v_b=0$

٣-٥ المتسع الأسطواني :

يتكون المتسع الأسطواني من أسطوانة معدنية داخلية نصف قطرها a متحدة بالمركز مع قشرة أسطوانية نصف قطرها b ويفــصل الاســطوانتين الهواء أو الفراغ.

أما أهمية معالجتنا لهذا النوع من المتسعات فتكمن في اســتخداماته المختلفة وأهمها السلك المحوري، أنظر الشكل بالأسفل:



يتم شحن الأسطوانة الداخلية بشحنة موجبة +q، إما القشرة فيتم شحنها بشحنة سالبة q – مساوية للشحنة الموجبة.

وتكون السعة الكهربائية للمتسع الاسطواني مساوية لـ :

$$C = \frac{q}{V_a - V_b} = \frac{2p \in_0 \mathbf{l}}{\mathbf{l}n(b/a)}$$

أي أن السعة الكهربائية مقاسة لكل وحدة طول تساوي:

$$\frac{C}{L} = \frac{2p \in_0 \mathbf{l}}{\mathbf{l}n(b/a)}$$

وهنا أيضا تعتمد السعة الكهربائية على الأبعاد الهندسية للمتسع (أي أنصاف الأقطار a و b) وكذلك الوسط العازل بين الأسطوانتين، وفي حالة الاستعاضة عن الهواء أو الفراغ الذي يملأ الحيز بين الاسطوانتين بمادة عازلة.

$$\in = k \in 0$$

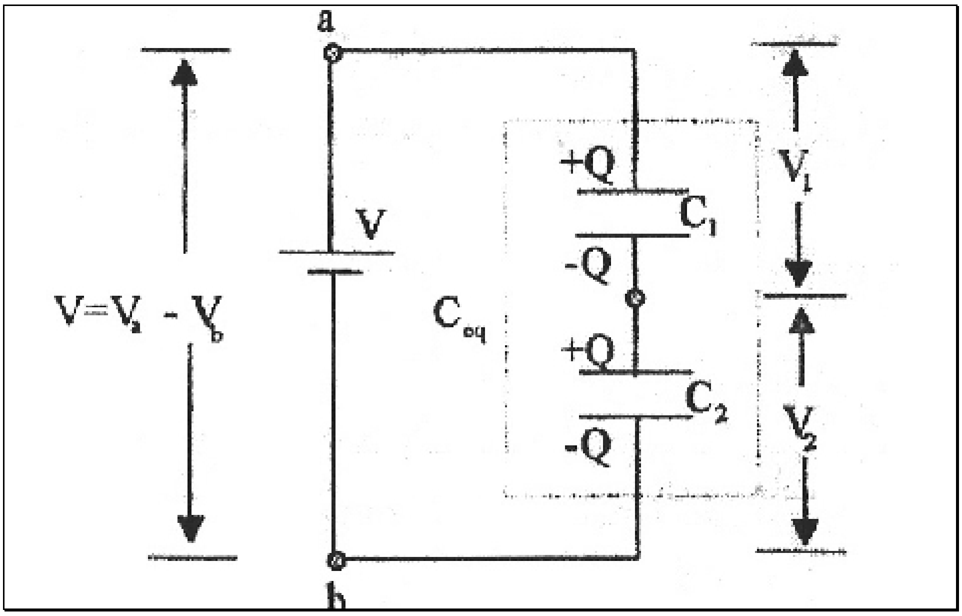
٣-٦ وصل المتسعات :

تدعو الحاجة التقنية والفنية في بعض الأحيان إلى استخدام أكثر من متسع في دارة كهربائية فيمكن وصل متسعين أو أكثر بإحدى الطريقتين التاليتين أو بكلتيهما معا:

الوصل على التوالي والتوازي. وفي كلتا الحالتين يراد إيجاد السعة الكهربائية المكافئة للمجموعة.

٣-٦-١ الوصل على التوالي :

يبين الشكل التالي متسعين غير مشحونين سعتاهما الكهربائية C_2 و C_1 موصلين على التوالي.



فعند وصل المتسعين بمصدر ثابت للقوة الدافعة الكهربائية يشحن الطرف العلوي للمتسع الأول c_1 بشحنة $+q$ ، والطرف السفلي للمتسع الثاني c_2 بشحنة سالبة $-q$ ، أما اللوحين السفلي للمتسع الأول والعلوي للمتسع الثاني فيشحنا بالتأثير وبنفس مقدار الشحنة بحيث تكون شحنة كل منهما مخالفة لشحنة اللوح الذي يقابله.

وإذا افترضنا أن الشحنة الكهربائية على كلا المتسعين غير متساوية، أي أن مجموع أو صافي الشحنات الكهربائية على لوحي كل متسع لا يساوي صفراً، مما يعني عدم تعادله كهربائيا. معنى هذه الحالة ينشأ مجال كهربائي في السلك الذي يصل المتسعين حيث تبدأ الشحنة الكهربائية الفائضة بالانسياب عبره أي يمر تيار كهربائي) حيث يصبح مجموع الشحنات الكهربائية على أي لوح مساوياً للشحنات على اللوح الآخر.

أما فرق الجهد بين المتسعين فيساوي مجموع فرقي الجهد بين طرفي كل من المتسع الأول V_1 والثاني V_2 أي أن:

$$V = V_1 + V_2$$

$$\left(V_2 = \frac{q}{C_2}\right), \quad \left(V_1 = \frac{q}{C_1}\right), \quad V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

وإذا استعضنا عن المتسعين بمتسع واحد سعته الكهربائية C_{eq} بحيث يبقى فرق الجهد بين طرفيه V ، فإن :

$$\frac{q}{C_{eq}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

وعليه فإن:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

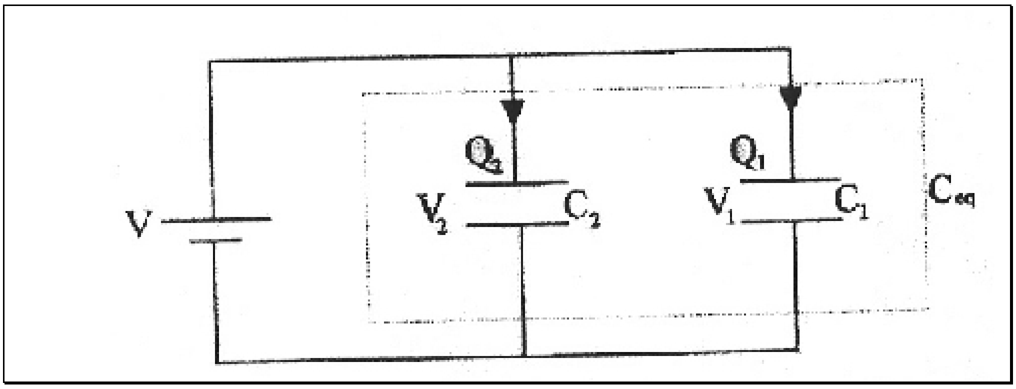
إذن السعة المكافئة C_{eq} لأي عدد n من المتسعات الموصولة على التوالي تساوي:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

إذن السعة المكافئة C_{eq} لمجموعة متسعات تكـــون موصـــولة علـــى التوالي تكون أقل من سعة أي منهما.

٣-٦-٢ الوصل على التوازي:

يبين الشكل التالي وصل متسعين c_1 و c_2 على التوازي بمصدر ثابت للقوة الدافعة الكهربائية (V) .



من الواضح أن فرق الجهد بين طرفي كل من المتسعين يساوي جهد المصدر ويستدعي مبدأ حفظ الشحنة الكهربائية أن يكون مجموع الـــشحنات الكهربائية على المتسعين مساوياً للشحنة الكلية.

$$q = q_1 + q_2$$

وبالتعويض في المعادلة السابقة:

$$q = V_1 q_1 + V_2 q_2$$

ولكن:

$$V1 = V_1 = V_2$$

إذن :

$$q = V(q_1 + q_2)$$

ومنها:

$$\frac{q}{V} = C_{eq} = q_1 + q_2$$

وهكذا فإن السعة الكهربائية المكافئة C_{eq} لمجموعة متسعات عددها n موصولة على التوازي تساوي :

$$C_{eq} = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

أو :

$$q(t) = eC\left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

عندما $t = \infty$ فإن $e^{\frac{-t}{RC}}$ تساوي واحد وبذلك فإن q(0)=0.

أما شدة التيار الكهربائي عند أي زمن t فتساوي :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}\left[Q\left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)\right]$$

$$i = \frac{Q}{RC} e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$= \frac{eC}{RC} e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$= I_0 \, e^{\frac{-t}{RC}}$$

حيث $I_0 = e / R$ عندما $t = 0$ وهي القيمة القصوى للتيار عند لحظة إغلاق الدارة. يبدو واضحا من العلاقة السابقة أن الكمية RC لها أبعاد الزمن وتسمى بالثابت الزمني لدارة RC أو ثابت الزمن السعوي، ويرمز له بالرمز t ويعرف بالزمن اللازم لتصبح شدة التيار المتدفق في الدارة مساوية لـ $1 / e$ من قيمته القصوى (الأولية) I_0 ولتوضيح تعريف الكمية t.

$$i = \frac{1}{e} I_0 = I_0 e^{\frac{-t}{RC}}$$

ومنها نجد :

$$e^{-1} = e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$1 = \frac{t}{RC}$$

$$t = RC$$

إذن بعد مضي زمن مقداره (RC) على إغلاق الدارة الكهربائية تهبط قيمة التيار إلى $1/ e$ من قيمته القصوى.

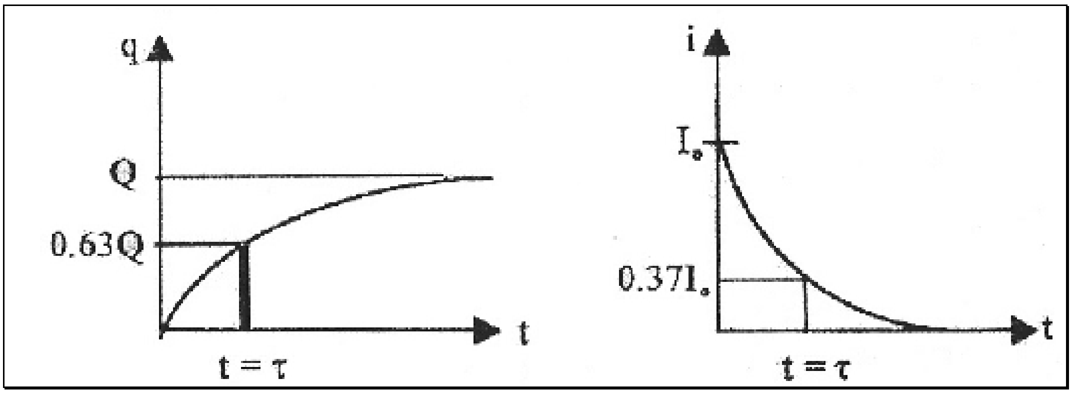
وبالمقابل بالتعويض في المعادلة السابقة وخلال فترة زمنية (RC) يتجمع على أحد لوحي المتسع شحنة مقدارها :

$$q = Q(1 - e^{-1})$$

$$= 0.63 \text{ Q}$$

إذن t هي الزمن اللازم لتجميع شحنة مقدارها 0.036 Q .

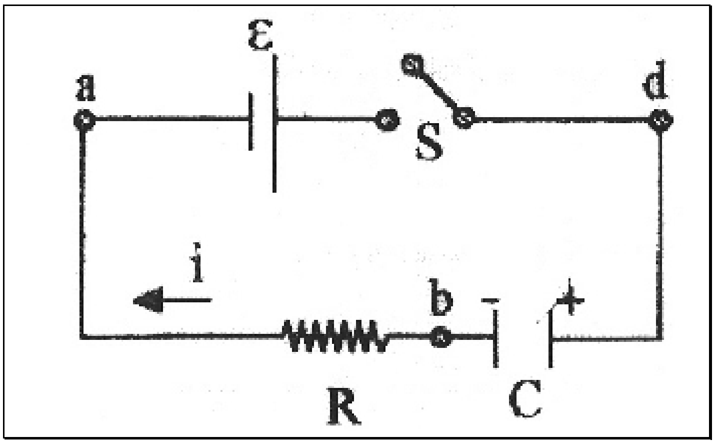
يتبين من المعادلتين السابقتين أنه في حين تزداد الشحنة على المتسع بشكل أسي يتناقص تيار الدائرة بشكل أسي أيضا مع الزمن، كما في الـــشكل التالي.



٣-٧ شحن وتفريغ الموسع

٣-٧-١ دارة الشحن:

يبين الشكل التالي دارة شحن كهربائية تحتوي علـــى مـــصدر قوتـــه الدافعة الكهربائية e، وموصل مقاومته R ، ومتسع غير مـــشحون ســـعته الكهربائية C، ومفتاح S، (يلاحظ هنا إهمال المقاومة الداخليـــة للبطاريـــة وأسلاك التوصيل وبتالي فإن R هي المقاومة المكافئة في الدارة).



فعند لحظة إغلاق الـــدارة الكهربائيـــة بالمفتـــاح S ($t = 0$)، تبـــدأ الشحنات الكهربائية بالتدفق نحو المتـــسع غيـــر المـــشحون (أي $q = 0$)

لتنشى تيارا أوليا في الدارة شدته I_0. وبما أن سطحي المتسع يمـــثلان دارة مفتوحة بفعل المسافة الفاصلة بينهما والتي تحتوي على هواء أو أية مـــادة عازلة فإن الصفيحة الثانية تسخن بالتأثير، وتستمر عملية شحن المتسع عبر المقاومة حتى تصل شحنته إلى قيمتها القصوى (أي q=Q عنـــدما $t \to \infty$). أما شدة التيار المتدفق عبر المقاومة فتبدأ بالتناقص تدريجيا حتى تتلاشـــى، وعندها يكون المتسع قد شحن تماما (أي q = Q).

ويمكننا تحويل الدارة الكهربائية بتطبيق قاعدة كيرشوف لمبدأ حفــظ الطاقة على العروة (abda).

$$-V_R - V_C + e = 0$$

حيث تمثل كل من V_R و V_C فرق الجهــد بـــين طرفـــي المقاومـــة والمتسع على الترتيب عند أي لحظة زمنيـــة. ولكـــن $V_C = \frac{q}{C}$ و $V_R = iR$ حيث يعتمد كلا من i, q على الزمن. لذا فإن:

$$e - \frac{q}{C} - iR = 0$$

ولإيجاد العلاقة بين الشحنة الكهربائية على المتـــسع q والـــزمن t، نعوض بـــ $i = \frac{dq}{dt}$ في المعادلة:

$$e - \frac{q}{C} - \frac{dq}{dt}R = 0$$

ويمكن اعتماد ترتيب المعادلة لتأخذ الصيغة التالية:

$$\frac{dq}{q - e\,C} = \frac{1}{RC}dt$$

وبالتكامل:

$$\int_{q=0}^{q} \frac{dq}{q-e\,C} = \int_{t=0}^{t} \frac{t}{RC}\,dt$$

نجد:

$$\ln\left[q-e\,C\right]_{q=0}^{q} = -\frac{t}{RC}$$

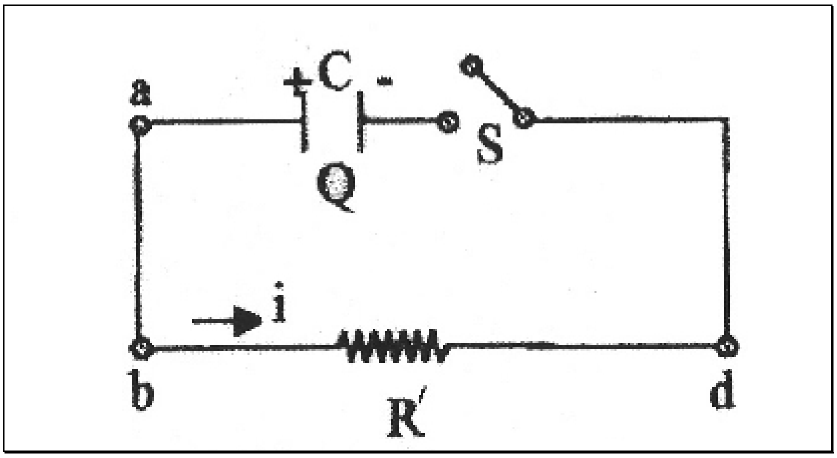
إذن :

$$\ln(q-e\,C)-\ln(-eC) = -\frac{t}{RC}$$

$$\ln\left(\frac{q-e\,C}{-e\,C}\right) = \ln\left(\frac{e\,C-q}{e\,C}\right) = -\frac{t}{RC}$$

٣-٧-٢ دارة التفريغ The Discharging Circuit

يبين الشكل التالي متسعا مشحونا بشحنته القصوى Q حيـــث يراد تفريغه خلال مقاومة خارجية R.



نطبق قاعدة كيرشوف لمبدأ حفظ الطاقة الكهربائية للعروة (abda).

إذن :

$$V_{R'} - V_C = 0$$

وبما أن $V_{R'} = iR'$ و $V_C = \dfrac{q}{C`}$ تمثلا فرقي الجهد بين طرفي كل من المقاومة والمتسع عل الترتيب ، بالتالي:

$$iR' - \frac{q}{C`} = 0$$

وحيث أن $i = \dfrac{dq}{dt}$ ، أي أن تيار الدارة يساوي معدل نقصان الشحنة على المتسع ، إذن :

$$R'\frac{dq}{dt} - \frac{q}{C`} = 0$$

ويمكن إعادة ترتيب المعادلة السابقة لتأخذ الصيغة التالية:

$$\frac{dq}{q} = \frac{1}{R'C`}dt$$

وبإجراء عملية التكامل للطرفين:

$$\int_{Q}^{q} \frac{dq}{q} = \frac{1}{R^{/}C`} \int_{t=0}^{1} dt$$

حيث q هي شحنة المتسع عند لحظة ما .

$$\frac{q}{Q} = e^{\frac{-t}{RC}}$$

وحيث أن تيار التفريغ $i = \frac{dq}{dt}$

إذن :

$$i = \frac{d}{dt}\left(Qe^{\frac{-t}{RC}} \right)$$

أو :

$$i = \frac{Q}{R^{/}C}\left(Qe^{\frac{-t}{RC}} \right)$$

وبعد زمن $R^{/}C=t$ نجد أن :

$$q = \frac{Q}{e}$$

الباب الرابع

طرق التحليل

طرق التحليل

١ - ٤ طريقة تيار الفرع:

في هذه الطريقة نفرض تياراً لكل فرع في الشبكة الفعالة ثم يطبق قانون كيرشوف للتيار عند العقد الرئيسية وتحدد الجهود بين العقد بدلالة التيارات وينتج عن ذلك مجموعة من المعادلات يمكن حلها للحصول على قيم التيارات.

٢ - ٤ طريقة تيار الشبيكة (الحلقة):

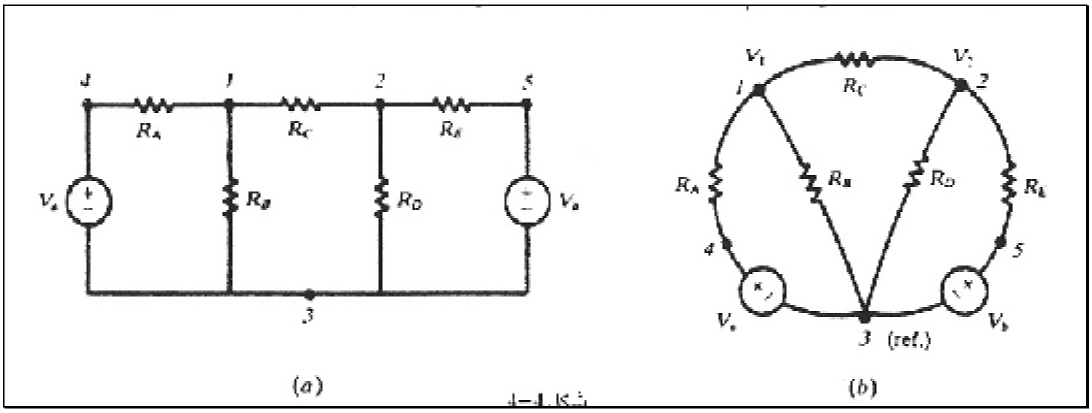
في هذه الطريقة تقسم الشبكة إلى دوائر مغلقة (حلقات) ويفترض لكل من هذه الدوائر.

ويطلق على هذا التيار أحيانا بالتيار الحلقي وبذلك يكون لكل عنصر وفرع تيار مستقل بذاته. وحينما يمر في أحد أفرع الشبيكة تياران فإن التيار الحقيقي المار بيه هو المجموع الجبري لهما. ويمكن افتراض اتجاه موحد للتيار الحلقي إما في اتجاه عقارب الساعة أو عكس هذا الاتجاه. وبمجرد تحديد اتجاه التيارات نستخدم قانون كيرشوف للجهد لكل حلقة للحصول على المعادلات الآنية اللازمة.

٣ - ٤ طريقة جهد العقدة:

تحتوي الشبكة في الشكل التالي على خمس عقد حيث تكون العقدتان ٤ ، ٥ بسيطة والعقد ١ ، ٢ ، ٣ رئيسية وفي طريقة جهد العقدة نختار أحد العقد الرئيسية وتسمى عقدة المقارنة وتكتب معادلات KCL للعقد الرئيسية الأخرى ثم نفترض جهدا لكل من العقد الرئيسية الأخرى التي يمكن حل

معادلاتها للحصول على قيمهم (لاحظ أن الجهد المفترض يكون منسوبا لجهد عقدة المقارنة).



و ترسم الشبكة مرة أخرى كما في الشكل b وباعتبار العقدة ٣ هـــي الرئيسية (عقدة المقارنة) بالنسبة للجهدين V_1 و V_2 وبتطبيق KCL حيث يكون مجموع التيارات عند العقدة I صفرا فإن :

$$\frac{V_1 - V_a}{R_A} + \frac{V_1}{R_B} + \frac{V_1 - V_2}{R_C} = 0$$

وبالمثل عند العقدة ٢ فإن:

$$\frac{V_2 - V_1}{R_C} + \frac{V_2}{R_D} + \frac{V_2 - V_b}{R_E} = 0$$

(استخدم قانون KCL لا يعني بالضرورة أن جميـــع التيـــارات لأي عقدة متجهة إلى الخارج ففي الحقيقة يكون التيار في الفرع 2-1 متجها إلى الخارج من أحد العقد وللداخل لعقدة أخرى). وبوضع معادلتي الجهد V_1، V_2 في صورة مصفوفة.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_A}+\frac{1}{R_B}+\frac{1}{R_C} & \frac{-1}{R_C} \\ \frac{-1}{R_C} & \frac{1}{R_C}+\frac{1}{R_D}+\frac{1}{R_E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a / R_A \\ V_B / R_E \end{bmatrix}$$

لاحظ أن التشابة في حدود المصفوفة فالعنصر 1 ، 1 يحتوي على مجموع مقلوبات جميع المقاومات المتصلة بالعقدة 1 والعنصر 2 , 2 يحتوي على جميع المقاومات المتصلة بالعقدة 2 . ويكون كلا من العنصرين , 1,2 2, 1 محتويا على سالب جمع مقلوبات المقاومات لجميع الأفرع التي تصل العقدة 1 بالعقدة 2 (يوجد فرع واحد بين العقدتين في هذه الحالة).

تحتوي مصفوفة التيار التي على الجانب الأيمن $V_a \backslash R_A$ و $V_b \backslash R_E$ وهما يسميان تياري الدفع وكلاهما موجب لأنهما يدفعان التيار إلى داخل العقدة.

٤ - ٤ المقاومة الداخلة:

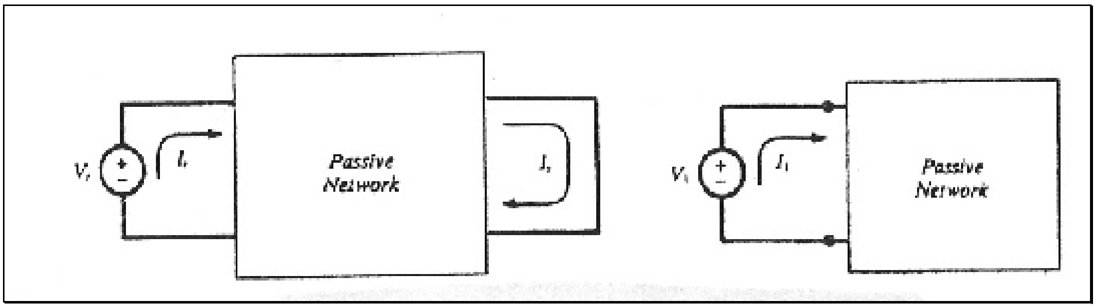
في الشبكات ذات المنبع الواحد تكون المقاومة الداخلة ذات أهمية خاصة. مثل هذه الشبكة موضحة بالشكل التالي حيث يكون المؤثر معرفاً بالجهد V_1 والتيار المناظر I_1 . وحيث أن المنبع الوحيد الموجود هو V_1 فإن معادلة I_1 تكون:

$$I_1 = V1\left(\frac{\Delta_{11}}{\Delta_R}\right)$$

وتكون المقاومة الداخلة هي النسبة بين V_1 إلى I_1:

$$r_{input1} = \frac{\Delta_R}{\Delta_{11}}$$

ويجب أن يتحقق القارئ أن Δ_R و Δ_{11} ذات وحدات مقاومة Ω.



٤ - ٥ مقاومة الانتقال:

ينتج عن الجهد المؤثر في أحد أجزاء الشبكة تيارات في جميع أفرع الشبكة. وكمثال فإن وجود منبع متصلا بشبكة غير فعالة ينتج عنه تأثيرا في جميع أفرع الشبكة . وكمثال فإن وجود منبع متصلا بشبكة غير فعالة ينتج عنه تيارا في ذلك الجزء من الشبكة عندما يتم توصيله بمقاومة حمل. وفي هذه الحالة يكون للشبكة مقاومة انتقال كلية . وباعتبار الشبكة غير الفعالة المفترضة . حيث أ، جهد المنبع V_r وتيار الخرج I_s . فإن معادلة تيار الشبيكة للتيار I_s تحتوي فقط على حد واحد هو الناتج من الجهد V_r في بسط المحدد.

$$I_s = (0)\left(\frac{\Delta_{1s}}{\Delta_R}\right) + ...+0+V_r\left(\frac{\Delta_{1s}}{\Delta_R}\right)+0+....$$

وتكون مقاومة الانتقال للشبكة هي نسبة V_r إلى I_s .

$$R_{input1} = \frac{\Delta_R}{\Delta_{rs}}$$

ولأن مصفوفة المقاومات متماثلة فإن $\boxed{\Delta_{rs}} = \boxed{\Delta_{sr}}$ وتكون بذلك مقاومة الانتقال.

$$\boxed{R_{transfer\,rs} = R_{transfer\,sr}}$$

وهذا يمثل حقيقة هامة في الشبكات الخطية. إذا نتج تيار معين في شبيكة s نتيجة لجهد معين في الشبيكة r فإن نفس الجهد في الشبيكة s ينشأ عنه نفس التيار في الشبيكة r.

وإذا أخذنا الحالة العامة لعدد n من الشبيكات لشبكة تحتوي على عدد من جهود المنابع فإن التيار للحلقة التي رقمها k يمكن كتابتها بدلالة المقاومة الداخلة ومقاومة الانتقال.

$$I_s = \frac{V_1}{R_{transfer1k}} + \ldots\ldots + \frac{V_{k-1}}{R_{transfer(k-1)k}} + \frac{V_1}{R_{inputk}} + \frac{V_{k+1}}{R_{itransfer(k+1)k}} + \ldots + \frac{V_n}{R_{itransfernk}}$$

وفي الحقيقة لا يوجد هنا جديد من الناحية الرياضية ولكن معادلة التيار في هذا الشكل يوضح تماما أن التيار يتكون من تجميع عدة تيارات ومبينا كيف تتحكم المقاومات في تأثير الجهد على قيمة التيار في شبكة معينة. وعند فصل أحد المنابع البعيدة عن الشبيكة k سيؤدي إلى مقاومة انتقال كبيرة في هذه الحلقة وبذلك يكون التأثير صغير جدا على التيار I_k . ويكون جهد المنبع V_k والجهود الأخرى في الشبيكات المجاورة للشبيكة k يمثل جزءا كبيرا للتيار I_k .

٦ - ٤ تبسيط الشبكات:

بالرغم من أن الطرق الرئيسية في تحليل الدوائر هي تيار الشبكة وجهد العقدة. فإن المقاومة المكافئة للأفرع المتوالية أو المتوازية مع قوانين

تقسيم الجهد والتيار توفر وسيلة أخرى لتحليل الشبكات . وهــذه الطريقــة شاقة وتستلزم عادة رسم عديد من الدوائر الإضافية ومع هذا فــإن عمليــة تبسيط الشبكة يحقق صورة واضحة للعلاقات الخاصة بالجهد والتيار والقدرة للشبكة .

وتبدأ عملية التبسيط بنظرة شاملة على الشبكة لإلتقاط أي مجموعات من المقاومات على التوالي أو على التوازي.

٧ - ٤ التراكب (التجميع) :

في الشبكات التي تحتوي على اثنين أو أكثر من المنابع المطلقة يمكن تحليلها للحصول على الجهود المختلفة وتيارات الأفرع وذلك باستخدام منبع واحد في كل مرة ثم عمل تراكب (تجميع) للنتائج . وتستخدم هذه الطريقــة أساسا لوجود علاقة خطية بين الجهد والتيار. ومع وجود منابع تابعة يمكــن استخدام طريقة التراكب فقط حينما تكون دوال التحكم خارجة عــن الــشبكة المحتوية على المنابع حتى لا تتغير المتحكمات عندما نستخدم منبعا واحــدا في كل مرة. وتقصر جميع منابع الجهد إلا واحدا في حين تــستبدل منــابع التيار بدوائر مفتوحة . ولا يمكن استخدام طريقة التراكب لحساب القدرة لأن القدرة في أي عنصر تكون متناسبة مع مربع التيار أومربع الجهد الذي يكون حينئذ غير خطي.

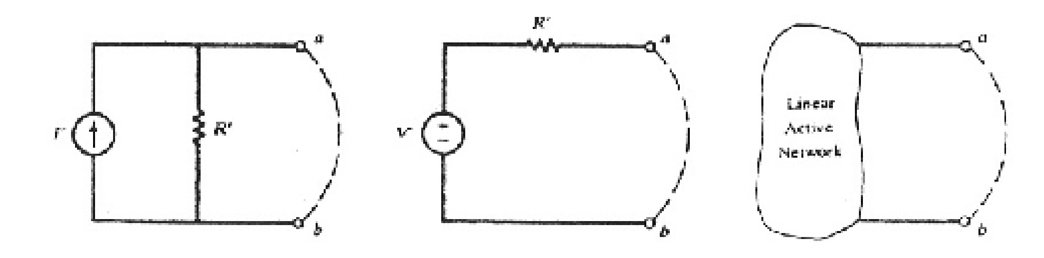
$$I_1 = V_1\left(\frac{\Delta_{11}}{\Delta_R}\right) + V_1\left(\frac{\Delta_{21}}{\Delta_R}\right) + V_r\left(\frac{\Delta_{31}}{\Delta_R}\right)$$

والذي يحتوي على أساس نظرية التراكب . ولاحظ أن الثلاث حــدود اليمنى هي المكونة للتيار I_1. فإذا وجد منابع في الشبكات الثلاث فإن التيار I

سيكون ناتجا من مساهمة كل من وبالإضافة إلى ذلك إذا كانت الشبيكة 3 تشمل المنبعين V_2 ، V_1 وكلا منهما يساوي صفرا فإن I_1 تحدد تماما بالحد الثالث.

٨ - ٤ نظرية ثيفين ونورتون:

للشبكة الخطية ذات المقاومات والتي تحتوي على منبع أو أكثر للجهد والتيار يمكن استبدالها بمنبع واحد من الجهد ومقاومة على التوالي (نظرية ثيفينن) أو بمنبع واحد للتيار ومقاومة على التوازي (نظرية نورتون). ويسمى الجهد جهد ثيفينن المكافئ $V^\backslash$ والتيار بتيار نورتون المكافئ $I^\backslash$. والمقاومتان لهم نفس الرمز $R^\backslash$. حينما نفتح الطرفين ab في الشكل (a) فإنه سيظهر جهد بينهما.



(c) Norton (b) Thévenin (a)

من الشكل b من الؤكد أن $V^\backslash$ هو جهد ثيفينن لدائرة ثيفينن المكافئة. وإذا قصرنا طرفي الدائرة كما هو مبين بالخط المنقوط في شكل (a) فإنه سينشأ تيار. من شكل (c) من المؤكد أن التيار $I^\backslash$ هو تيار نورتون لدائرة نورتون المكافئة. والآن إذا كان كل من الدائرتان (b) و (c) مكافئ لنفس الشبكة الفعالة فسيكون كل منهم مكافئ للآخر .ويمكن استنتاج أن $I^\backslash = V^\backslash./R^\backslash$ وإذا استنتجنا أن كل من $I^\backslash$ و $V^\backslash$ من الشبكة الفعالة فإن $R^\backslash = V^\backslash./I^\backslash$.

٩ - ٤ نظرية القدرة القصوى المنقولة:

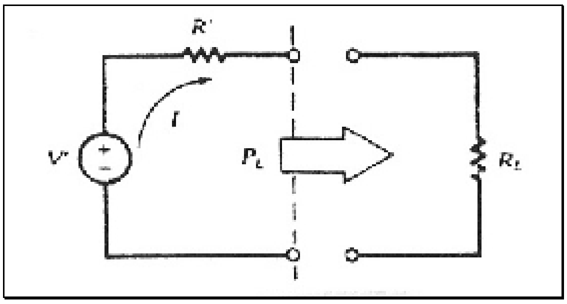
أحيانا يكون المطلوب معرفة أقصى قدرة يمكن نقلها من شبكة فعالة إلى حمل خارجي كمقاومة R_L وبفرض أن الشبكة خطية فإنه يمكن تبسيطها إلى دائرة مكافئة كما في الشكل التالي ومن ثم.

$$I_1 = \frac{V'}{R' + R_L}$$

وبذلك تكون القدرة المستهلكة في الحمل .

$$p_L = \frac{V'^2 R_L}{(R' + R_L)^2} = \frac{V'^2}{4R'}\left[1 - \left(\frac{R' - R_L}{R' + R_L}\right)^2\right]$$

ومن الملاحظ أن القدرة R_L تصل إلى قيمتها العظمى $\boxed{\frac{V'^2}{4R'}}$ حينما R_L $= R'$ في هذه الحالة تكون القدرة في R' هي أيضا $\boxed{\frac{V'^2}{4R'}}$ وبالتالي حينما تكون القدرة المنقولة قيمة عظمى تكون الجودة 50% .



الباب الخامس

التجارب العملية

التجارب العملية

٥-١ تجربة (١)

دراسة قانون أوم

توصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي

٥-٢ الهدف من التجربة:

١ - تحقيق قانون أوم بدراسة العلاقة بين فرق الجهد والتيار لدائرة كهربية.

٢ - تحقيق قانون التوصيل على التوالي وعلى التوازي.

٥-٣ الخلفية النظرية:

٥-٢-١ كيف تعمل المقاومات؟

تعمل المقاومات على مقاومة مرور التيار الكهربي، وذلك من خلال امتصاص جزء من الطاقة الكهربية وتبديدها على شكل حرارة، أي أنها تعمل على التحكم بمروره، فكلما كنت مقاومة الموصل عالية قل التيار الكهربي المار من خلالها، وتعد المقاومات أبسط مكون الكتروني.

٥-٢-٢ على ماذا تعتمد مقاومة الموصل:

تعتمد مقاومة الموصل على عدة عوامل منها نوع المادة وأبعادها ودرجة حرارتها.

٥-٢-٣ على ماذا ينص قانون أوم؟

ينص قانون أوم على أن فرق الجهد (V) بين طرفي الموصل يتناسب تناسبا طرديا (علاقة خطية) مع شدة التيار الكهربائي (I) عند ثبوت درجة الحرارة، حيث أن درجة الحرارة تؤثر على مقاومة المادة، هذه العلاقة يمكن التعبير عنها رياضيا كالتالي:

$$V \alpha I$$

$$V = constnt \times I$$

$$V = R \times I$$

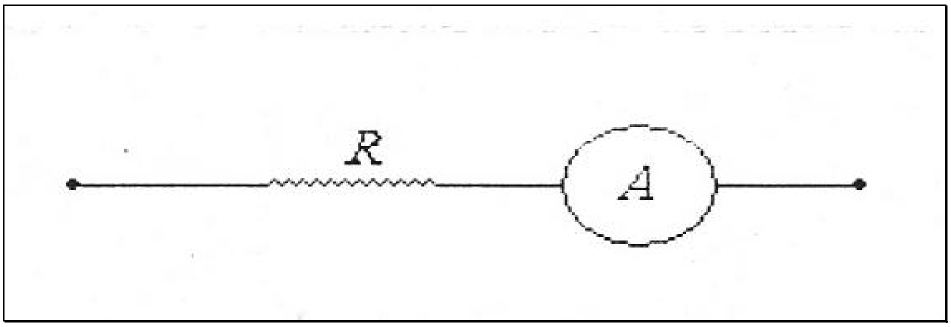
$$R(ohm) = V(Volt) / I(Amper)$$

حيث أن (R) ثابت التناسب وتسمى بمقاومة الموصل ووحدتها تسمى أوم يرمز لها بالرمز اليوناني Ω وتقرأ أوم ويقصد بالمقاومة مقدار ما يلقاه التيار من صعوبة أو معارضة عند مروره في موصل كهربائي.

٥-٣ ما هو التيار المار خلال الموصل؟

التيار المار خلال موصل مقاومته (R) هو كمية الشحنة المارة خلال الموصل في وحدة الزمن ويمكن قياسه بواسطة الأميتر (جهاز يستخدم لقياس التيار) الذي يوصل في الدائرة على التوالي كما هو موضح في الشكل (١) وكما نلاحظ فإن نفس التيار المار خلال الموصل يمر في جهاز قياس التيار (الأميتر). وحدة قياس التيار هي (الأمبير).

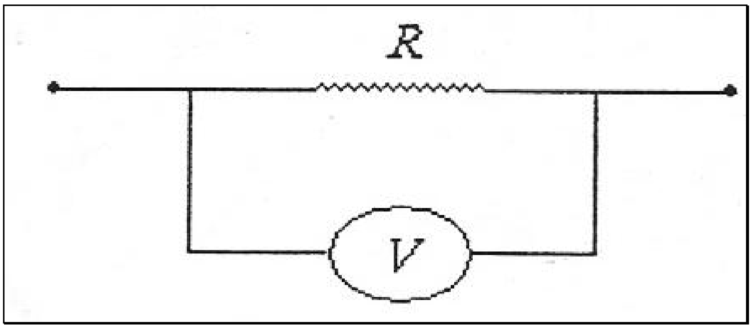
$$(1Amper) = \frac{1Coulomb}{1Sec}$$



الشكل (١)

٥ - ٤ ما هو فرق الجهد؟

أما فرق الجهد فهو الطاقة الناتجة من مرور وحدة الشحنات في الدائرة، ويمكن قياسه بواسطة جهاز يسمى الفولتميتر، والذي يوصل في الدائرة على التوازي كما هو موضح في الشكل (٢). وحدة قياس فرق الجهد هي (الفولت)، (Volt) .



الشكل (٢)

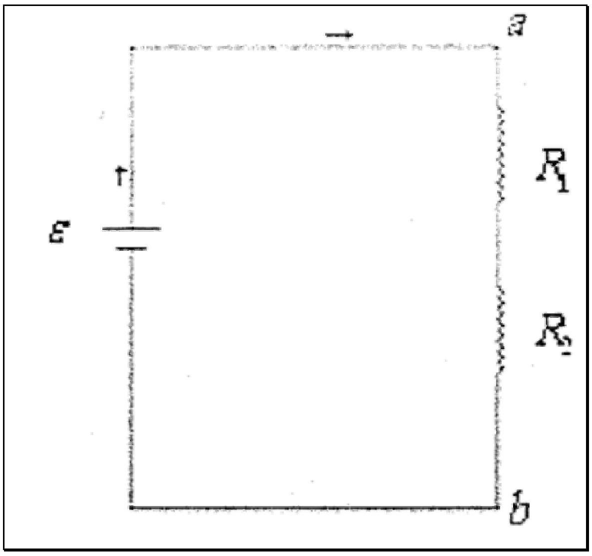
٥ - ٥ توصيل المقاومات :

يتم توصيل المقاومات بطريقتين هما:

٥ - ٦ التوصيل على التوالي:

يمر التيار في حالة التوصيل على التوالي من خلال المقاومات واحدة بعد الأخرى ولذا فإن شدة التيار وفرق الجهد ومقدار المقاومة في كل منهما كما يلي:

$$I_t = I_1 \times I_2$$



الشكل (٣)

حيث (I_T) تمثل شدة التيار الكلية، وفرق الجهد الكلي عبر النقطتين (a-b) في الشكل (٣) هو :

$$V_t = V_1 \times V_2$$

حيث (V_1) هو فرق الجهد عبر المقاومة (R_1)، و (V_2) هو فرق الجهد عبر المقاومة (R_2) .

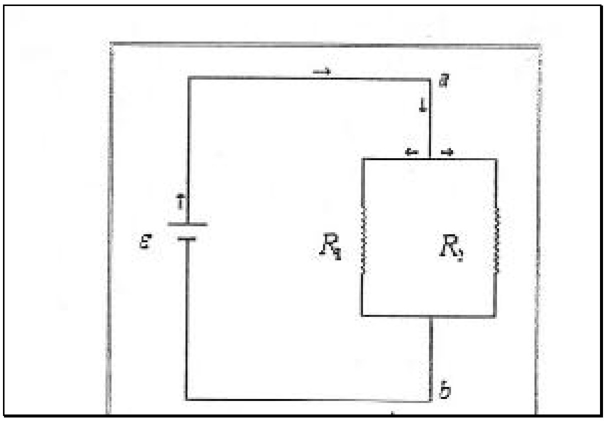
وحيث أن توصيلهما على التوالي فإن التيار المار فيهما هو نفسه التيار الخارج من المصدر (البطارية) والمار عبر النقطتين (a-b) وإذا كانت (R_s) هي المقاومة المكافئة لهما فإن طبقا لقانون أوم يكون:

$$R_S = R_1 \times R_2 \qquad (1)$$

٥-٧ التوصيل على التوازي:

عند توصيل مقاومتين على التوازي كما هو موضح بالشكل (٤)، يكون فرق الجهد على كل منهما هو نفسه فرق الجهد (V) على كل منهما هو نفسه فرق الجهد (V) للمصدر أن يتوزع التيار الكلي (I_r) الخارج من المصدر عليهما

$$I_T = I_1 \times I_2$$



الشكل (٤)

فإذا كانت المقاومة المكافئة لهما هي (R_p) فإنه تبعا لقانون أوم يكون:

$$\frac{V}{R_P} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (2)$$

٥-٨ الأجهزة المستخدمة:

١- مصدر جهد مستمر (بطاريتان).

٢- مقاومة متغيرة (ريوستات).

٣- مقاومتان أحدهما مجهولة القيمة (R_1) والأخـــرى معلومـــة القيمـــة (R_2).

٤- جهاز لقياس فرق الجهد.

٥- جهاز لقياس شدة التيار المستمر.

٦- مفتاح.

٧- أسلاك توصيل.

٥ - ٩ أهم القوانين المستخدمة:

المقاومة R_x $R_x = m_1$

المقاومة على التوازي : R_P

عملي $R_P = m_2$

نظري $R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

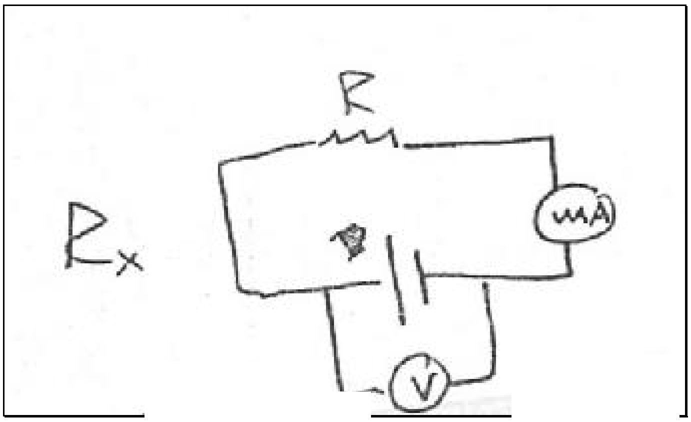
المقاومة على التوالي: R_S

عملي $R_S = m_3$

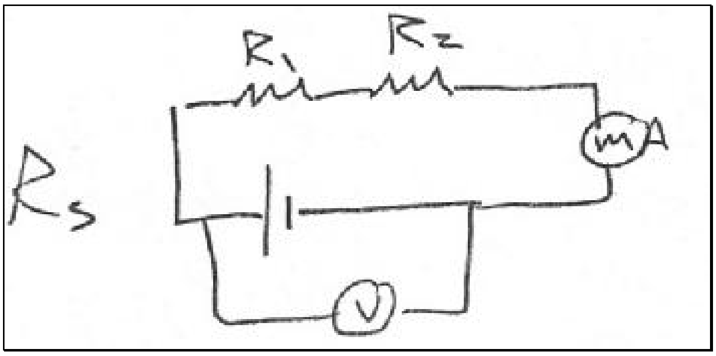
نظري $R_S = R_1 + R$

نسبة الخطأ : $\frac{X_m - X}{X_m} \times 100$

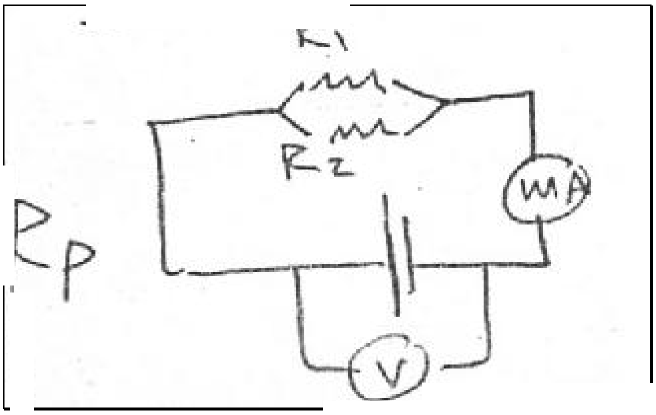
٥ - ١٠ الدوائر الكهربية المستخدمة:



مقاومة الواحدة



مقاومة التوالي



مقاومة التوازي

الجدول الأول (R_X):

(V) volt	(I) A
2	45×10^{-3} A
4	90×10^{-3} A
6	135×10^{-3} A
7	155×10^{-3} A

الجدول الثاني (R_p) على التوازي:

(V) volt	(I) A
2	80×10^{-3} A
4	170×10^{-3} A
6	265×10^{-3} A
7	310×10^{-3} A

الجدول الثالث (R_s) على التوالي:

(V) volt	(I) A
2	15×10^{-3} A
4	40×10^{-3} A
6	60×10^{-3} A
7	70×10^{-3} A

٥-١١ المقاومة على التوازي : Rp

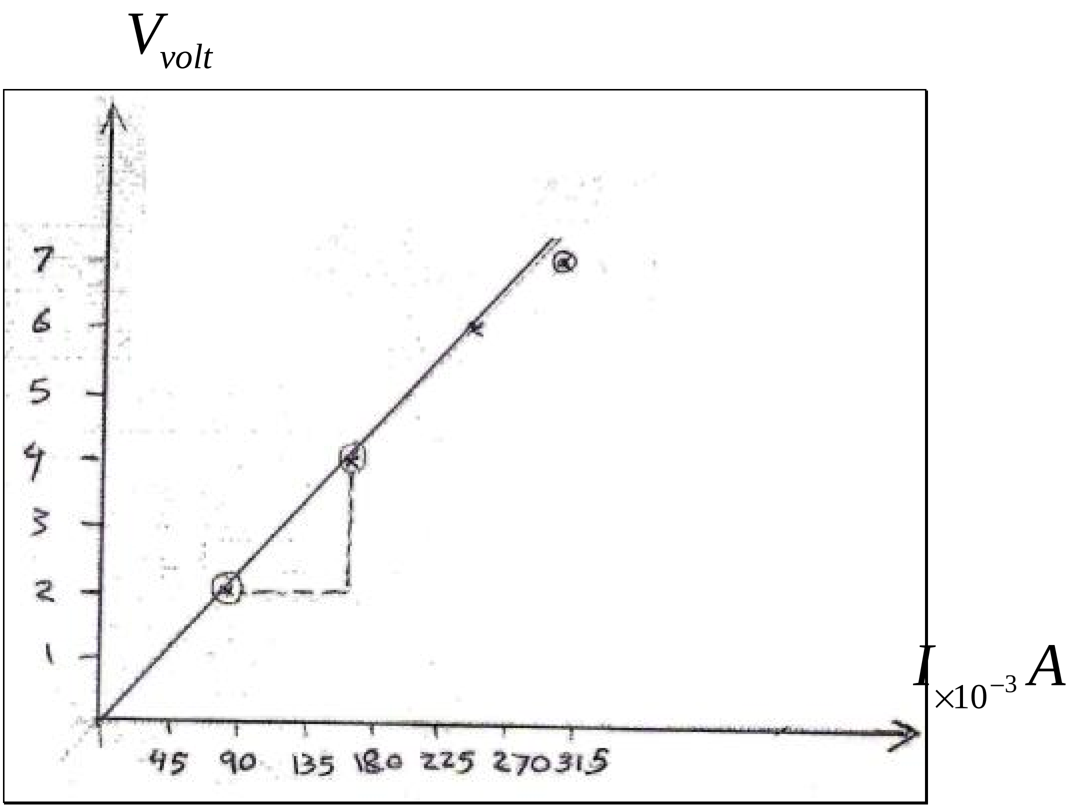
$$\frac{23.5-22.2}{23.5}\times 100$$

$$=5.5\%$$

$$m_2=\frac{4-2}{(170-80)\times 10^{-3}}$$

$$m_2=22.2$$

$$Rp=22.2\ \Omega$$



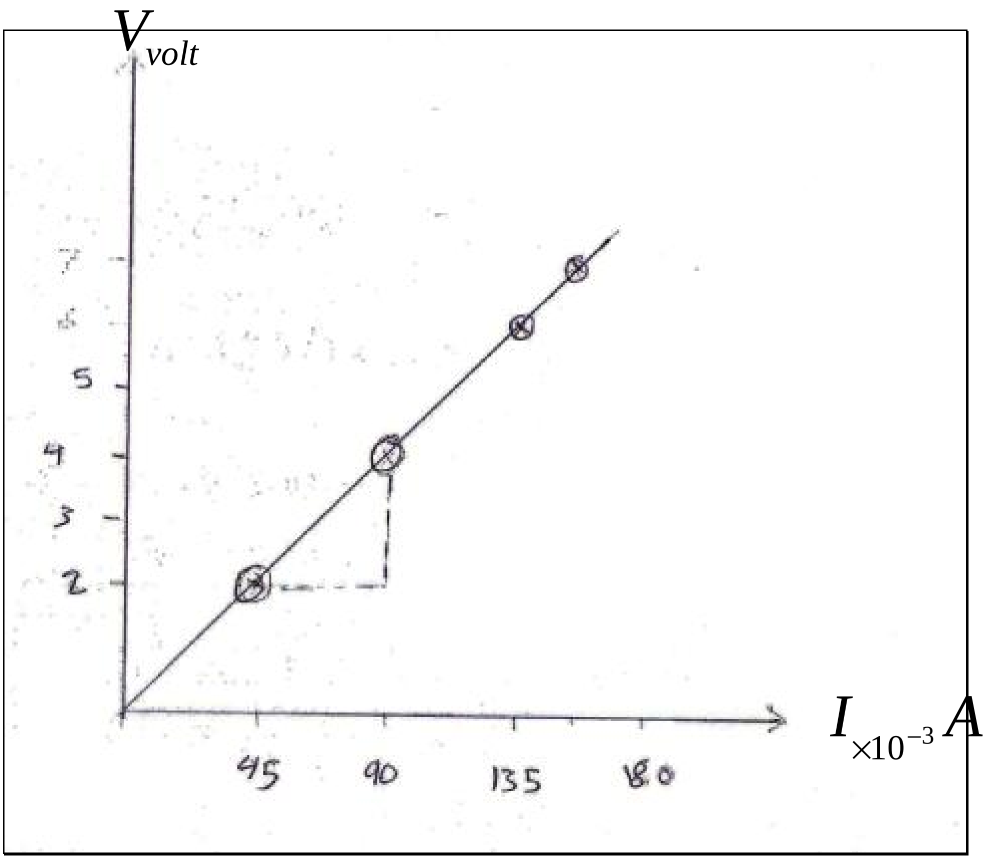
٥-١٢ المقاومة على الواحدة : Rp

$$R_{\times} = 44\ \Omega$$

$$M_1 = \frac{4-2}{95-45} = 44.4$$

نسبتي الخطأ:

$$\frac{47-44.4}{47} \times 100 = 5.5\ \%$$



٥-١٣ المقاومة على التوالي: Rs

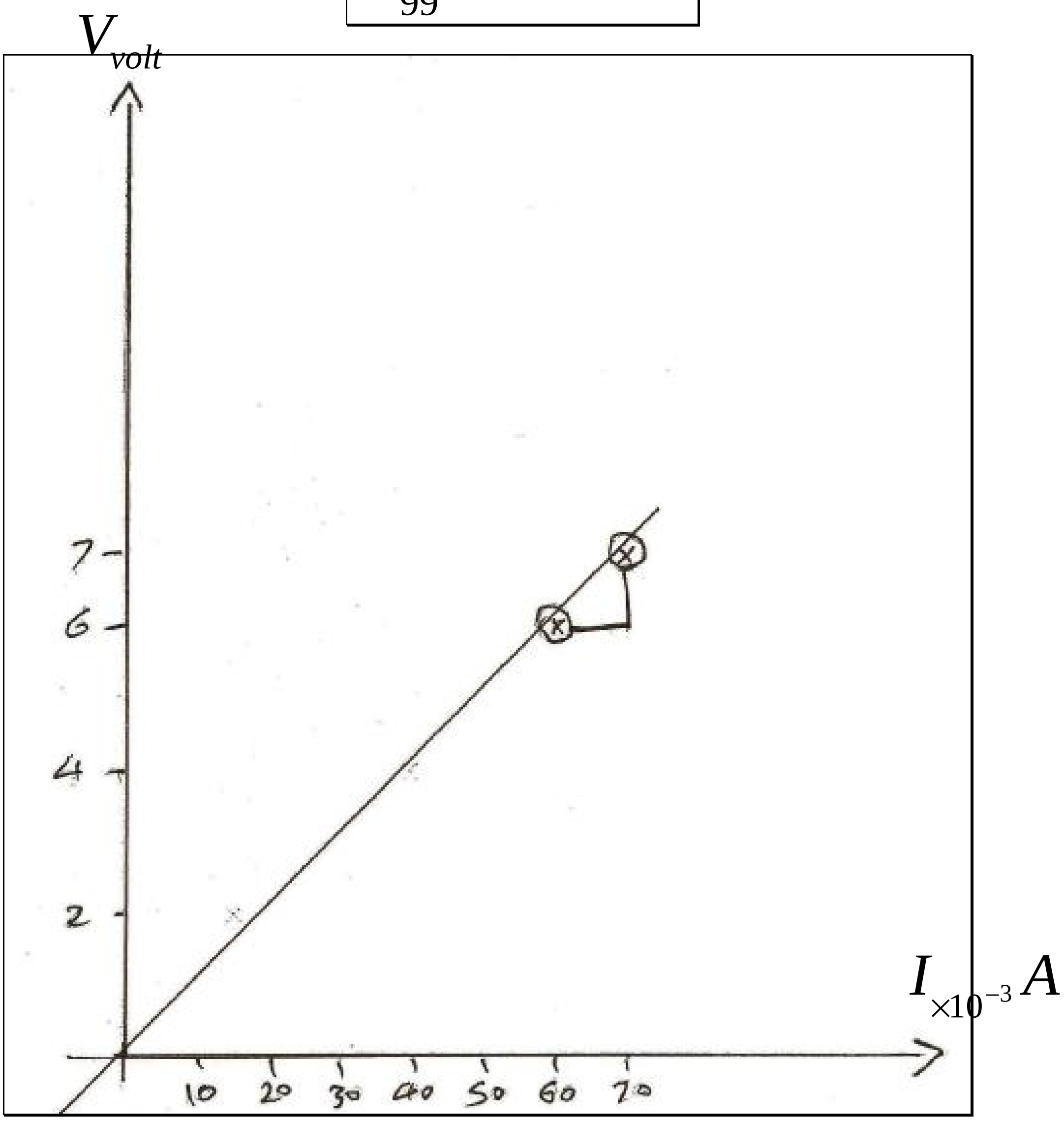
$$R_s = 100\ \Omega$$

$$M_3 = \frac{7-6}{(70-60)\times 10^{-10}}$$

$$m_3 = 100$$

نسبة الخطأ:

$$\frac{94-100}{99}\times 100 = 6.3\%$$



٥-١٤ تجربة (٢) :

إيجاد سعة مكثف مجهول

٥-١٥ الهدف من التجربة :

١ - التعرف على المكثف وأنوعه.

٢ - التعرف على ماهية سعة المكثف.

٣ - تحديد العوامل التي تعتمد عليها سعة المكثف.

٤ - مشاهدة طرق توصيل المكثفات.

٥ - إيجاد سعة مكثف بشحنة وتفريغه.

٦ - إيجاد السعة المكافأة لمكثفات موصلة على التوالي أو على التوازي.

٥-١٦ نظرية التجربة:

٥-١٦-١ ما هو المكثف:

المكثف هو عنصر قادر على الاحتفاظ بالشحنة الكهربائية، وهو أحد العناصر الأساسية المستخدمة في تركيب غالبية الأجهزة الالكترونية، مكون من موصلين مشحونين بشحنتين مختلفتين في النوع ومتساويتين في المقدار أحدهما يتصل بالقطب الموجب الآخر بالقطب السالب للبطارية بينهما مادة عازلة والرمز الالكتروني للمكثف في الدوائر الكهربية هو .

٥-١٦-٢ ما هي سعة المكثف؟

إن عدد الإلكترونات التي يمكن أن يحتفظ بها تحت جهد (ضغط كهربائي) معين تسمى سعة المكثف أو بعبارة أخرى هي قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربية.

$$Q \propto V$$

$$Q = CV$$

$$\therefore C = \frac{Q}{V} \qquad (1)$$

سعة المكثف = الشحنة المخزونة في المكثف / فرق الجهد بين اللوحين للمكثف

وحيث أن :

$$Q = ne$$

$$\therefore C = \frac{ne}{V} \qquad (2)$$

ونلاحظ من المعادلات السابقة أن : السعة تقاس بوحدة الفاراد ويرمز لها بالرمز F.

1 farad = 1 coulomb / volte

ويمكن تقسيمها إلى وحدات أصغر منها هي الميكروفاراد mF والنانو فاراد nF والبيكوفاراد pF حيث أن :

$$1\,mF = 10^{-6}\,F$$

$$1\,nF = 10^{-9}\,F$$

$$1\,pF = 10^{-12}\,F$$

٥-١٦-٣ ما الذي يؤثر على سعة المكثف؟

هناك ثلاثة عوامل أساسية تؤثر على سعة المكثف بصورة مباشــرة وهي:

١- المساحة السطحية لألواح المكثف (a) :

إن سعة المكثف تناسبا طرديا مع المساحة السطحية لألواح Caa ، فإذا زادت مساحة سطح اللوح زادت سعة المكثف وذلك لزيادة استيعابه للشحنات الكهربائية، وبالعكس تقل سعة المكثف كلما قلت هذه المساحة.

٢- المسافة بين الألواح (d) :

تقل السعة عندما تزداد المسافة بين الألواح وتزداد كلما قلت تلك المسافة أي أنه يوجد تناسب عكسي بين سعة المكثــف والمــساحة بــين ألواحــه $C a \frac{1}{d}$.

٣- الوسط العازل (المادة العازلة) (e):

تتغير سعة المكثف بتغير المادة العازلة بين الألواح ويعتبر الهواء الوحدة الأساسية لمقارنة قابلية عزل المواد الأخرى المستعملة في صناعة المكثفات. يوجد لكل مادة ثابت عزل يطلق عليه إبسلون (e).

مما سبق نجد أن سعة المكثف بدلالة المساحة الــسطحية للألــواح (a) والمساحة بين الألواح (d) وثابت العزل للمادة العازلة (e)يكون:

$$C = \frac{e\,a}{d}$$

٥-١٧ الأجهزة والأدوات:

١ - مكثف مجهول السعة.

٢ - مصدر جهد مستمر (بطارية).

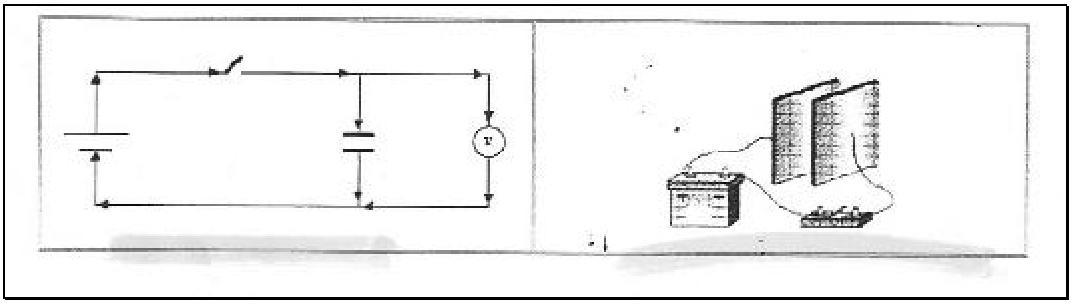
٣ - فولتيمتر لقياس فرق الجهد ملحق بداخله مقاومة $15k\Omega$

٤ - مفتاح.

٥ - أسلاك توصيل.

٦ - ساعة إيقاف.

٥-١٨ الدائرة المستخدمة:



٥-١٩ أهم القوانين المستخدمة:

$$R = 15k\Omega = 15000\Omega \quad , V_0 = 10volt$$

$$C = \frac{t}{R\ln\left(\frac{v_0}{v}\right)}$$

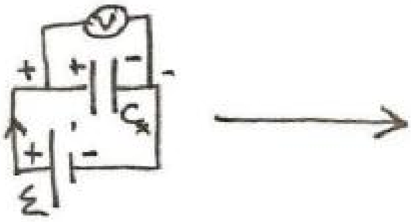
نظري على التوالي $C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

نظري على التوالي $C_p = C_1 + C_2$

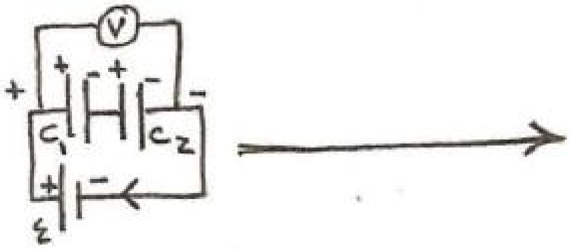
$$C_1 = 1000\,mf = C_2$$

٥ - ٢٠ الدوائر الكهربية المستخدمة:

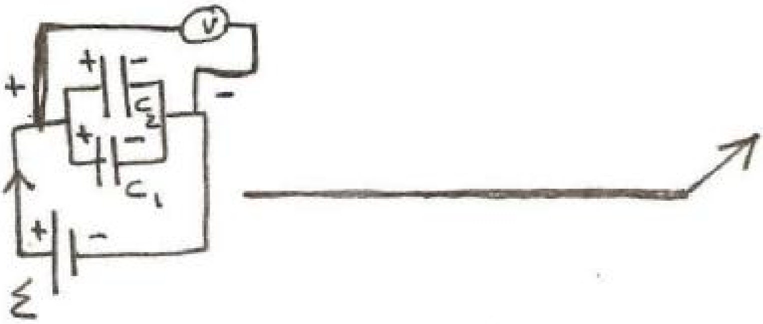
دائرة (C_x) :



دائرة (C_s) :



دائرة (C_p) :



إيجاد سعة مكثف C_x :

V_0	V	$\ln(\frac{V_0}{V})$	t Sec	C_x
10	7	$\ln(\frac{10}{7})$	3.92	9.14×10^{-5}
10	5	$\ln(\frac{10}{5})$	7.72	3.5×10^{-4}
10	2	$\ln(\frac{10}{2})$	17.83	1.9×10^{-3}

$$\sum C_x = \frac{(9.19\times10^{-5})+(3.5\times10^{-4})+(1.9\times10^{-3})}{3}$$

$$\sum C_x = 7.8\times10^{-4}\ F\times10^{6}\ F = 780\,mF$$

إيجاد سعة مكثف C_s :

V_0	V	$\ln(\frac{V_0}{V})$	t Sec	C_x
10	7	$\ln(\frac{10}{7})$	2.29 s	5.34×10^{-5}
10	5	$\ln(\frac{10}{5})$	4.23 s	1.94×10^{-4}
10	2	$\ln(\frac{10}{2})$	9.89 s	1.05×10^{-3}

$$\sum C_s = \frac{(5.34\times10^{-5})+(1.94\times10^{-4})+(1.05\times10^{-3})}{3}$$

$$\sum C_s = 4.32\times10^{-4}\ F\times10^{6}\ F = 432\,mF$$

$$C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1000 \times 1000}{1000 + 1000} = 500\,mF$$

$$\frac{X_m - X}{X} \times 100$$

$$\frac{500 - 432}{500} \times 100 = 13.6\%$$

إيجاد سعة مكثف C_p :

V_0	V	$\ln(\frac{V_0}{V})$	t Sec	C_x
10	**7**	$\ln(\frac{10}{7})$	**9.9 s**	2.12×10^{-5}
10	**5**	$\ln(\frac{10}{5})$	**17.48 s**	8.04×10^{-4}
10	**2**	$\ln(\frac{10}{2})$	**41.3 s**	4.40×10^{-3}

$$\sum C_p = \frac{(2.12 \times 10^{-4}) + (8.04 \times 10^{-4}) + (4.4 \times 10^{-3})}{3}$$

$$\sum C_p = 1.80 \times 10^{-3}\, F \times 10^{6}\, F = 1800\,mF$$

$$C_p = C_1 + C_2 = 1000 + 1000 = 2000\,mF$$

$$\frac{X_m - X}{X} \times 100$$

$$\frac{2000 - 1800}{2000} \times 100 = 10\%$$

٥-٢١ تجربة (٣)

تعيين ثابت الزمن لدائرة تشتمل على مكثف ومقاومة :

٥-٢٢ الهدف من التجربة:

دراسة العوامل التي يتوقف عليها زمن شحن (أو تفريغ)مكثف .

٥-٢٣ الأدوات المستخدمة:

١ - بطارية (أو مصدر جهد مستمر).

٢ - مكثف معلوم السعة.

٣ - جهاز لقياس فرق الجهد (فولتميتر).

٤ - مقاومة عالية القيمة.

٥ - مفتاح.

٦ - ساعة إيقاف.

٧ - أسلاك توصيل.

٥-٢٤ نظرية التجربة:

عند شحن مكثف سعته c فاراد خلال مقاومة (R) متصلة معه على التوالي فإنه عند لحظة بدء الشحن لا توجد شحنة على المكثف وبالتالي يكون فرق الجهد بين طرفيه = صفر. أي فرق الجهد خلال R يساوي فرق الجهد الكلي للبطارية V_0 (أو يساوي القوة الدافعة للبطارية (e)) وعندها يكون التيار الكلي المار في البطارية i_0 هو :

$$i_0 = V_0 / R = e / R \qquad ....(1)$$

وعند تزايد الشحنة على المكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه، ويوافق هذا نقصان في فرق الجهد بين طرفي المقاومة R مسببا تناقص التيار (تيار الشحن) المار فيها تدريجيا.

٥-٢٥ القوانين المستخدمة :

$t = RC$ نظري

$V = V_0 e^{\frac{-t}{RC}}$ إيجاد قيمة t عملي ١

$\ln V = \frac{-t}{RC} + \ln V_0$ إيجاد قيمة t عملي ٢

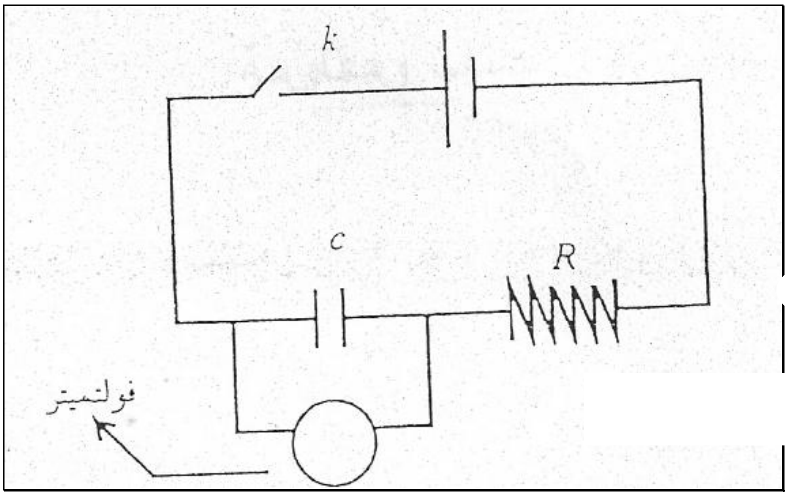
$m = \frac{-1}{RC} \Rightarrow t = \frac{1}{m}$

$\frac{X_m - X}{X} \times 100$ نسبة الخطأ

$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2}$

٥-٢٦ الدائرة الكهربية المستخدمة:

١ - صل الدائرة الموضحة في شكل التالي :



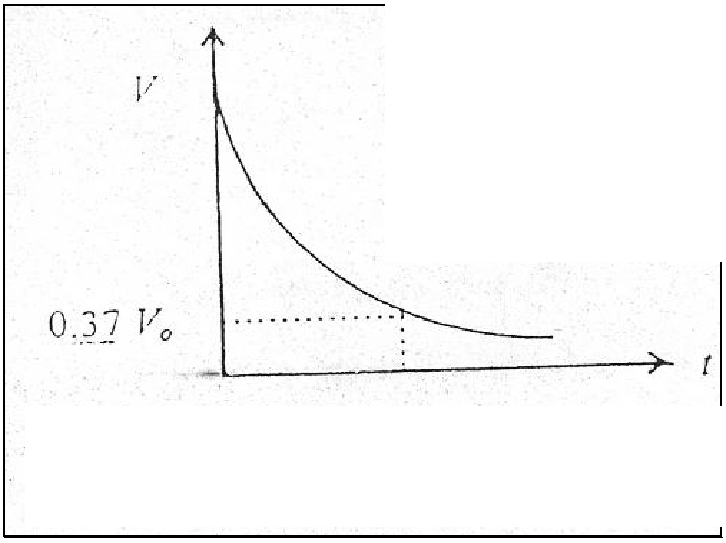
٢ - اقفل المفتاح k لشحن المكثف حتى يصل جهده إلى القيمة الابتدائية V_0 ثم افصل الدائرة لتفريغ المكثف وشغل ساعة الإيقاف. سجل مقدار إنخفاض الجهد من V_0 إلى قيم مختلفة V مع الزمن t وذلك في جدول منظم (خذ ما لا يقل عن خمس قراءات).

٣ - احسب قيم Ln V المقابلة لقيم V ، وسجلها في عمود مستقل في الجدول السابق.

٤ - ارسم العلاقة بين Vعلى المحور الصادي والزمن t على المحور السيني تحصل على منحني أسي يحقق المعادلة . هذا رسم بياني (١).

٥ - إذا علمت أن الثابت الزمني هو الفترة الزمنية التي ينخفض فيها الجهد إلى القيمة $0.37\ V_0$ فاستنتج من رسمك في الخطوة (٤) قيمة الثابت الزمني للدائرة المستخدمة في هذه التجربة.

٦- ارسم العلاقة بين Ln V على المحور الصادي ، t على المحور السيني فتحصل بذلك على خط مستقيم يحقق المعادلة وهذا هو رسم بياني (٢).



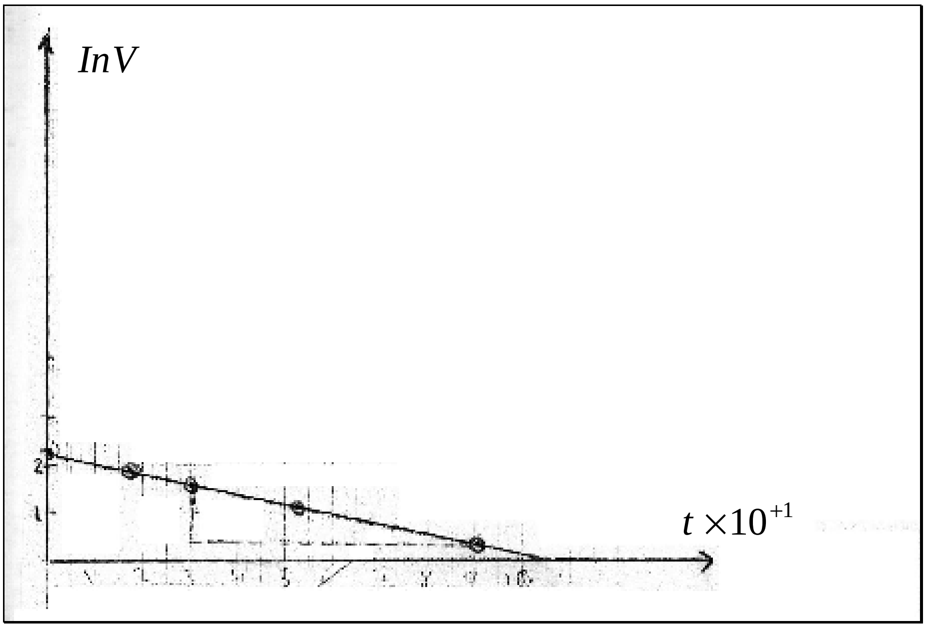
٧- احسب من رسمك البياني (٢) ميل المستقيم الناتج ومنه استنتج قيمة الثابت الزمني t.

٨- احسب القيمة المرجعية للثابت الزمني $\boxed{t}$ من العلاقة $\boxed{t = RC}$ وهذه هي القيمة الصحيحة. قارن القيم المستنتجة لـ t من الرسمين البيانين (١) ، (٢) بالقيمة المرجعية ، ثم احسب النسبة المئوية للخطأ في القيمة التجريبية.

الطريقة العملية الثانية:

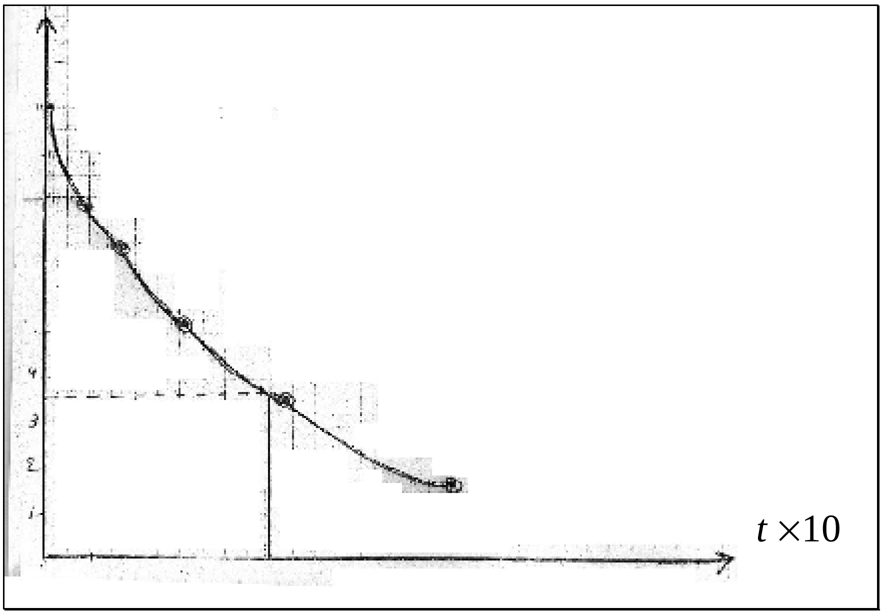
$$\boxed{m = \frac{1.6 - 0.4}{30.59 - 90.34} = \frac{1.2}{-59.84} = -0.0200}$$

$$\boxed{t = \frac{1}{m} = \frac{1}{+0.020} = 50}$$



الطريقة العملية الأولى:

قيمة t عند 3.7 v $t=50$



النتائج و الحسابات:

V_0	V	Ln V	t
10	10	2.302585	0
	8	2.07944	17.99

30.59	1.60943	5	
51.69	1.38629	4	
90.43	0.69314	2	

$C = 3300 \times 10^{-6}$

$t = RC$

$R = 15000\ \Omega$

$$t = RC = 15000 \times (3300 \times 10^{-6}) = 49.5$$

الطريقة الأولى لإيجاد قيمة t عمليا:

عن طريق تمثيل المعادلة الأسية:

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

قيمة t عند $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

قيمة t عند $V = 3.7$

من خلال الرسم البياني أوجدنا قيمة t عمليا:

$t = 50$

الطريقة الثانية لإيجاد قيمة t عمليا:

عن طريق تمثيل المعادلة اللوغارتمية :

$$\ln V = -\frac{t}{RC} + \ln V_0$$

نجعل الميل موجب :

$$m=\frac{-1}{t} \qquad \Rightarrow t=\frac{1}{m}$$

$$\because t=\frac{1}{m}=\frac{1}{0.20}=50$$

نسبة الخطأ في الطريقة الأولى :

$$\frac{X_m - X}{X}\times 100$$

$$\frac{50-49.5}{49.5}\times 100=1\%$$

نسبة الخطأ في الطريقة الأولى :

$$\frac{X_m - X}{X}\times 100$$

$$\frac{50-49.5}{49.5}\times 100=1\%$$

٥ - ٢٧ تجربة (٤)

دراسة قوانين كيرتشوف:

٥-٢٨ الهدف من التجربة:

تطبيق قوانين كيرتشوف على دائرة تيـــار مـــستمر (DC circuit) والتي فيها لا يتم توصيل المقاومات على التوالي أوعلى التوازي.

٥-٢٩ قانون كيرشوف الأول (قاعدة العقدة)

يتبع هذا القانون مبدأ حفظ الشحنة، حيث لا يمكن أن تتراكم الـــشحنة عند أي نقطة في دائرة مقاومة كما أنه لا تفنى عند أي نقطة في تلك الدائرة. من هذا تكون صياغة قاعدة كيرتشوف الأولى.

مجموع التيارات الداخلة إلى عقدة (نقطة) ما في دائـــرة يـــساوي مجموع التيارات الخارجة منها.

٥-٣٠ قانون كيرشوف الثاني (قاعدة العروة):

يتبع هذا القانون مبدأ حفظ الطاقة، فعند حمل أي شحنة وتحركها خلال مسار مغلق في دائرة كهربية فإن هذه الشحنة تفقد قدرا من الطاقة مثل القدر الذي كسبته.

من هذا تكون صياغة قاعدة كيرتشوف الثانية هي :

" في أي مسار مقفل في دائـــرة كهربيـــة فـــإن المجمـــوع الجبـــري للارتفاعات والانخفاضات في الجهد الكهربي يساوي صفراً " .

٥-٣١ الأجهزة المستخدمة :

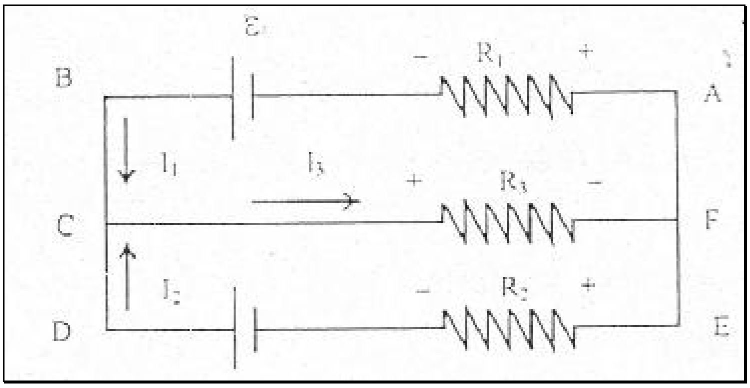
١ - ثلاث مقاومات قيمها معلومة .

٢ - مصدري جهد مستمر (أو بطاريتان) القوة الدافعة لهما .

٣ - جهازان أحدهما لقياس التيار المستمر والآخر لقياس فرق الجهد.

٤ - مجموعة أسلاك توصيل.

٥ - ٣٢ الدائرة المستخدمة:



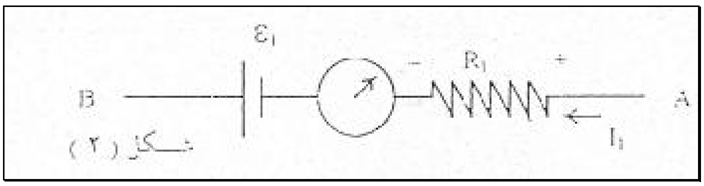
شكل (١)

٥ - ٣٣ خطوات العمل:

١. وصل الدائرة الموضحة في الشكل (١).

٢. تأكد من قيم المقاومات المعطاة لك (R_1 , R_2 , R_3) وكذلك من قيم e_1, e_2 ثم سجلها بطريقة منظمة في ورقة تقريرك.

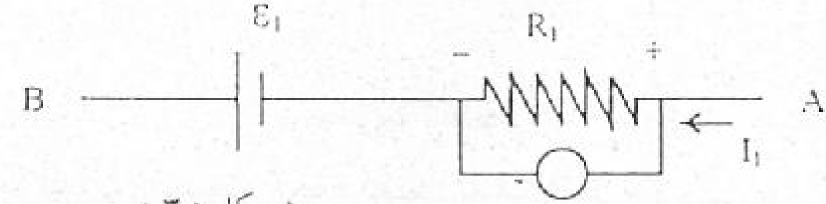
٣. وصل جهاز الأميتر على التوالي بين e_1, R_1 كما في شكل (٢) وذلك لقراءة التيار المار في المقاومة R_1 . سجل قراءة التيار هذه وهي تمثل القيمة التجريبية لـ I_1 (اجعل قياساتك بالأمبير).



٤. انقل جهاز الأميتر ووصله الآن على التوالي أيضا بين e_2, R_2، سجل قيمة التيار المار في المقاومة R_2 بالأمبير، هذه هي I_2 التجريبية.

٥. انقل جهاز الأمتير الآن ووصله الآن على التوالي بين المقاومة R_3 والنقطة C أو بين R_3 والنقطة F وسجل قيمة التيار المار في المقاومة R_3 وهذه هي قيمة I_3 التجريبية.

٦. وصل جهاز الفولتميتر بين طرفي المقاومة R_1 لقياس فرق الجهد بين طرفيها كما في شكل (٣) وسجل قراءة فرق الجهد عبر هذه المقاومة وهذه هي V_1 التجريبية.



شكل (٣)

٧. كرر الخطوة السابقة بنقل جهاز الفولتميتر إلى كل من المقاومتين R_1 و R_3 وسجل القيم التجريبية V_2 عبر R_2 و V_3 عبر R_3.

٨. احسب قيمة I_1 النظرية مستخدما المعادلة ومستخدما القيم المعلومة لكل من المقاومات والقوى الدافعة الكهربية لمصادر الجهد.

٩. احسب أيضا القيم النظرية لـ I_2 .

١٠. احسب القيمة النظرية لـ I_3 .

١١. مستخدما القيم النظرية للتيارات I_1 , I_{21} , I_3 طبق قانون أوم $(V=IR)$ لحساب القيم النظرية لفروق الجهد V_1 , V_{21} , V_3.

١٢. باعتبار القيم النظرية لكل من التيارات وفروق الجهد هي القيم المرجعية (الحقيقية) احسب الخطأ المئوي في القيم التجريبية.

٥ - ٣٤ أهم القوانين المستخدمة:

$$I_1 = \frac{R_3(e_1 - e_2) + e_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$I_2 = \frac{e_1 - I_1(R_1 + R_3)}{R_3}$$

$$I_3 = I_2 + I_1$$

الجهد نظري:

$$V_1 = I_1 R_1 \qquad , V_2 = I_2 R_2 \qquad , V_3 = I_3 R_3$$

نسبة الخطأ:

$$\frac{X_m - X}{X} \times 100$$

I_1	I_2	I_3	V_1	V_2	V_3	
16.5mA	28.5mA	46.5mA	0.76v	2.8v	3.27v	**عملي**
0.015A	0.030A	0.045A	0.70v	2.5v	3.06v	**نظري**
%10	%-5	%3.3	%8.5	%12	%6.2	**الخطأ**

تجربة (٥):

إيجاد سعة مكثف مجهول/ توصيل المكثفات على التوالي وعلى التوازي

هدف التجربة:

١) تعلم طريقة إيجاد سعة مكثف بشحنة ثم تفريغه.

٢) إيجاد السعة المكافئة لمكثفين وصلا بعضهما مرة على التوالي ومرة على التوازي.

الجهاز المستخدم:

مكثفان سعة أحدهما مجهولة (C_1)، والآخر سعته معلومة (C_2)، مصدر جهد مستمر (أو بطارية) جهاز فولتميتر لقياس فرق الجهد ملحق بداخله مقاومة قيمتها ($R = 15\ K = 15000\ \Omega$)، أسلاك توصيل. ساعة إيقاف لقياس الزمن.

نظرية التجربة:

إيجاد سعة مكثف مجهول:

المكثف مكون من سطحين معدنيين (موصلين) يفصلهما مادة عازلة. شحنات السطحين متساوية في المقدار ومختلفة في الإشارة.

المجال الكهربي بين السطحين يتناسب طردياً مع شحنة كل سطح (Q)، وعليه يكون فرق الجهد بين السطحين متناسباً طردياً مع شحنة كل سطح. أي أن:

$V_{ab} \propto Q$ ومنها فإن:

$$Q = C V$$

حيث C مقدار ثابت يمثل سعة المكثف، ويمكن تعريف سعة المكثف على أنها النسبة بين الشحنة Q وفرق الجهد بين سطحيه:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

وبهذا تكون وحدات C هي كولوم/فولت وتسمى فاراد وفقاً للنظام الدولي للوحدات.

عند توصيل مكثف مشحون بمقاومة R فإن الشحنة الكهربية الموجودة على المكثف تفرغ. الزمن t المستغرق لتفريغ المكثف يعتمد على كل من C, R. فإذا كانت قيمة الجهد الابتدائي للمكثف هو V_o وهي أعلى قيمة للجهد بعد إبعاد المكثف عن مصدر الجهد (أو البطارية)، فإن V وهي جهد المكثف بعد مرور زمن t من تفريغه تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V = V_o \, e^{-(t/RC)}$$

ومنها نحصل على

$$\frac{V}{V_0} = e^{-(t/RC)} \quad (2)$$

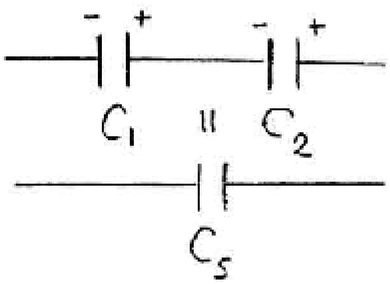
وبأخذ اللوغاريتم الطبيعي (ln) لطرفي العلاقة الأخيرة نحصل على:

$$\ln\frac{V}{V_0} = -\frac{t}{RC} \qquad or \qquad C = \frac{t}{R\ln\frac{V_0}{V}} \quad (3)$$

توصيل مكثفين على التوالي وعلى التوازي:

التوصيل على التوالي:

يتم توصيل مكثفين على التوالي كما في شكل (١)



شكل (١)

وتكون الشحنة على أي منهما واحدة، وفرق الجهد الكلي V هو:

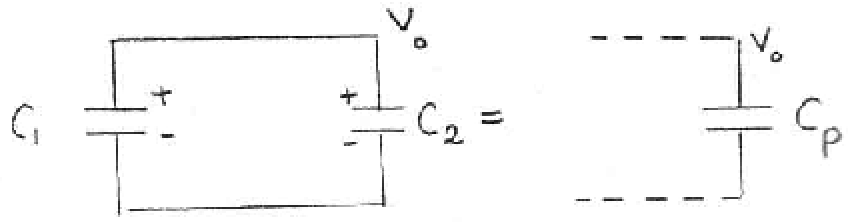
$$V = V_1 + V_2 \qquad (4)$$

حيث V_1 هو فرق الجهد بين سطحي المكثف الأول (C_1)، V_2 هو فرق الجهد بين سطحي المكثف الثاني (C_2)، فإذا استبدلنا المكثفين بمكثف له سعة C_s مكافئة لسعة المكثفين بحيث أن المصدر يزوده بنفس الكمية من الشحنة Q فإن V على هذا المكثف يكون مساوياً لـ V الكلي المعطى بالمعادلة (٤)، وباستخدام التعريف المعطى في المعادلة (١) نجد أن:

$$\frac{Q}{C_s} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \qquad or \qquad \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (5)$$

التوصيل على التوازي:

يتم التوصيل على التوازي كما في الشكل (٢):



شكل (٢)

في هذه الحالة يكون فرق الجهد V بين سطحي أي من المكثفين واحداً وهو نفسه بين طرفي المصدر. الشحنة الكلية Q القادمة من المصدر تتوزع عليهما فيكون:

$$Q = Q_1 + Q_2 \qquad (6)$$

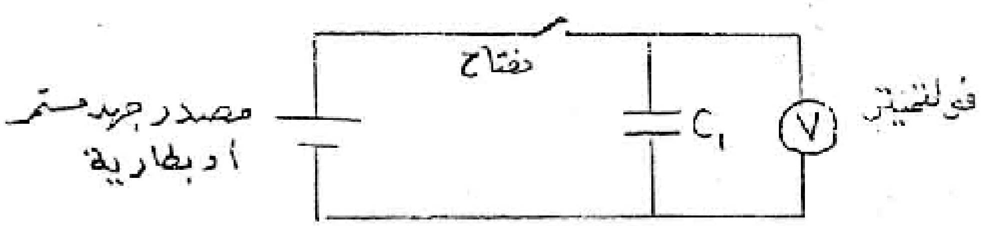
وباستبدال المكثفين C_1، C_2 بمكثف سعته C_P بحيث تظل الشحنة المحولة إليه من المصدر هي نفسها Q فإنه طبقاً للمعادلة (١) تصبح المعادلة (٦):

$$C_P V = C_1 V + C_2 V \qquad \text{or} \qquad C_P = C_1 + C_2 \qquad (7)$$

خطوات العمل:

الجزء الأول: تعيين سعة المكثف المجهول C_1

(١) وصل الدائرة كما في الشكل (٣) مع ملاحظة أن المقاومة R مدرجة داخل جهاز الفولتميتر.



شكل (٣)

(٢) أغلق المفتاح ليتم شحن المكثف وعدل قيمة الجهد حتى تصل إلى قيمة مناسبة (10 Volt مثلاً) وهذه هي القيمة الابتدائية V_0.

(٣) لفصل المكثف عن المصدر افتح الدائرة وفي نفس الوقت ابدأ بتشغيل ساعة الغيقاف وسجل الزمن اللازم لانخفاض الجهد على المكثف من القيمة الابتدائية V_0 إلى قيمة أقل V. كرر ذلك ثلاث مرات لثلاث قيم مختلفة لـ V (مثلاً 3, 5, 8 Volt). كل مرة يتم تسجيل زمن انخفاض الجهد t.

(٤) استخدم المعادلة (٣) لحساب سعة المكثف C_1 مع كل قيمة لـ V ثم عين متوسط C_1. سجل نتائج قياساتك وحساباتك بطريقة منظمة.

الجزء الثاني: تعيين السعة المكافئة للمكثفين C_1، C_2 وذلك في حالة توصيلهما على التوالي وكلاهما سعته معلومة الآن.

(١) وصل المكثفين كما في الشكل (١).

(٢) كرر الخطوات المتبعة في الجزء الأول (٢-٤) لإيجاد السعة المكافئة C_s. وهذه هي القيمة المستنتجة تجريبياً لـ C_s.

(٣) تحقق من نتيجتك العملية بمقارنتها بالنتيجة المتوقعة حسابياً بتطبيق المعادلة رقم (٥). احسب الخطأ المئوي للقيمة التجريبية باعتبار قيمة C_s المستنتجة حسابياً (نظرياً) هي القيمة الصحيحة.

الجزء الثالث: تعيين السعة المكافئة للمكثفين C_1، C_2 وذلك في حالة توصيلهما على التوازي.

(١) وصل المكثفين كما في الشكل (٢).

(٢) كرر تماماً الإجراء العملي المتبع في الجزء السابق لتحصل على السعة المكافئة C_P. وهذه هي القيمة التجريبية لـ C_P.

(٣) تحقق أيضاً من النتيجة العملية لقيمة C_P بمقارنتها بالنتيجة المتوقعة حسابياً من المعادلة رقم (٧)، ثم احسب الخطأ المئوي في C_P التجريبية معتبراً القيمة الحسابية هي القيمة الحقيقية.

أسئلة وملاحظات:

(١) هل شحن مكثف بالطريقة اتبعتها يعني مرور التيار المستمر في المكثف؟ تأكد من إجابتك عملياً.

(٢) استنتج قيمة الشحنة الموجودة على كل مكثف في حالة التوصيل على التوالي، ثم استنتج قيمة كل من V_1 على C_1 و V_2 على C_2 وذلك في حالة الشحن إلى القيمة الابتدائية V_o. قارن المجموع: $(V_1 + V_2)$ بالقيمة V_o. ماذا تلاحظ؟ هل يحقق هذا المعادلة رقم (٤).

(٣) استنتج قيمة الشحنة الموجودة على كل مكثف في حالة التوصيل على التوازي وذلك عند القيمة الابتدائية للجهد V_o. لتكن Q_1 هي الشحنة على C_1، Q_2 هي الشحنة على C_2. قارن المجموع $(Q_1 + Q_2)$ بالشحنة الكلية Q المتوقع وجودها على المكثف المكافئ للمكثفين. ماذا تلاحظ؟ هل يحقق هذا المعادلة (٧)؟

(٤) إذا علمت أن الطاقة الكهربية U المخزنة في المكثف المشحون تعطى بالعلاقة:

$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q}{2c}$ فاحسب الطاقة الكهربية المخزنة في كل مكثف في حالة التوصيل على التوالي ثم قارن مجموعهما بالطاقة الممكن تخزينها في المكثف المكافئ لهما وذلك عند الجهد V_o.

كرر نفس الحسابات على المكثفين في حالة توصيلهما على التوازي.

سجل ملاحظاتك وتعليقاتك على نتائج حساباتك في هذه الفترة.

تجربة (٦)

تعيين ثابت الزمن لدائرة تشتمل على مكثف ومقاومة

الهدف من التجربة: دراسة العوامل التي يتوقف عليها زمن شحن (أو تفريغ) مكثف.

الأدوات المستخدمة:

بطارية (او مصدر جهد مستمر)، مكثف معلوم السعة، جهاز لقياس فرق الجهد (فولتميتر)، ومدرجة معه مقاومة عالية القيمة، مفتاح، ساعة إيقاف، أسلاك توصيل.

نظرية التجربة:

عند شحن مكثف سعته c فاراد خلال مقاومة (R) متصلة معه على التوالي فإنه عند لحظة بدء الشحن لا توجد شحنة على المكثف وبالتالي يكون فرق الجهد بين طرفيه = صفر. أي فرق الجهد خلال R يساوي فرق الجهد الكلي للبطارية V_o (أو يساوي القوة الدافعة للبطارية ε) وعندها يكون التيار الكلي المار في البطارية i_o هو:

$$i_o = V_o/R = \varepsilon/R \qquad (1)$$

وعند تزايد الشحنة على المكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه، ويرافق هذا نقصان فرق الجهد بين طرفي المقاومة R مسبباً تناقص التيار (تيار الشحن المار فيها تدريجياً.

استنتاج العلاقة بين تيار الشحن وزمن الشحن أو بين جهد التفريغ وزمن التفريغ:

لإيجاد العلاقة بين تاير الشحن i وزمن الشحن t (أو بين جهد التفريغ V وزمن التفريغ t) نطبق مبدأ حفظ الطاقة خلال الدائرة الموضحة شكل (١).

إذا تحركت الشحنة dq خلال أي مقطع في الدائرة في زمن dt فإن الشغل المبذول بين طرفي البطارية يجب أن يساوي مجموع الطاقتين: الطاقة الناتجة في المقاومة خلال الزمن dt، والطاقة التي يتم تخزينها في المكثف. ونعبر عن هذا بمعادلة حفظ الطاقة الآتية:

$$e\ \ dq = i^2 R dt + d\left(\frac{q^2}{2c}\right) \qquad or$$

$$e\ \ dq = i^2 R\ dt + \frac{q}{c} dq$$

(2)

وبالقسمة على dt نحصل على:

$$e\frac{dq}{dt} = i^2 R + \frac{q}{c}\frac{dq}{dt}$$

(3)

وحيث أن $i = \frac{dq}{dt}$ فإن:

$$e = iR + \frac{q}{c}$$

(4)

يلاحظ أيضاً أن تطبيق قاعدة العروة (قاعدة كيرشوف الثانية) يقود أيضاً إلى المعادلة (٤).

ولحل هذه المعادلة نعوض عن i بـ dq/dt لتأخذ المعادلة الصورة:

$$e = R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{c}$$

(5)

وهذه معادلة تفاضلية من الرتبة الأولى يمكن حلها بفصل المتغيرات وإجراء التكامل كالآتي:

$$\int_0^q \frac{dq}{q - e\,c} = \int_0^t -\frac{dt}{Rc}$$

(6)

والنتيجة هي:

$$q = c\varepsilon (1-e^{-t/Rc}) \qquad (7)$$

ويأخذ التفاضل بالنسبة لــ t للطرفين نحصل على:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{e}{R} e^{-t/Rc} \quad or \quad i = \frac{V_o}{R} e^{-t/Rc} \qquad (8)$$

وبضرب الطرفين في R نحصل على:

$$V = V_o e^{-t/Rc} \qquad (9)$$

حيث استخدمنا المعادلة (١). المعادلتان (٨، ٩) كل منهما معادلة أسية في t ويمكن تحويلها إلى معادلة خطية وذلك بأخذ اللوغاريتم الطبيعي لطرفيهــا، سنطبق هذا على المعادلة (٩):

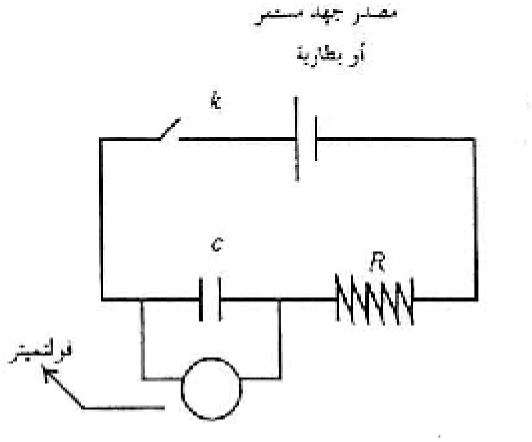
$$Ln V = -\frac{t}{Rc} + Ln\ V_o \qquad (10)$$

وهذه معادلة خط مستقيم على الصورة: $y = mx + c$

حيث ميل المستقيم $m = -\frac{1}{Rc}$ وطول الجزء المقطوع من محور الصادات = LnV_o المقدار Rc يسمى ثابت الزمن (Time Constant) لدائرة الشحن.

خطوات العمل:

(١) صل الدائرة الموضحة في شكل (١)



شكل (١)

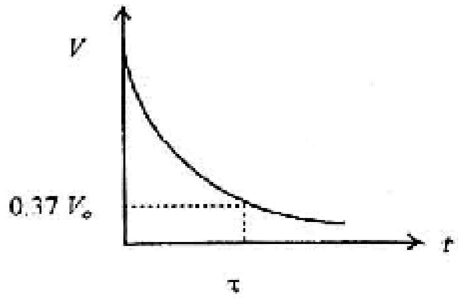
(٢) اقفل المفتاح k لشحن المكثف حتى يصل جهده إلى القيمة الابتدائية V_o ثم افصل الدائرة لتفريغ المكثف وشغل ساعة الإيقاف. سجل مقدار انخفاض الجهد من V_o إلى قيم مختلفة V مع الزمن t وذلك في جدول منظم (خذ ما لا يقل عن خمس قراءات).

(٣) احسب قيم $\ln V$ المقابلة لقيم V، وسجلها في عمود مستقل في الجدول السابق.

(٤) ارسم العلاقة بين V على المحور الصادي والزمن t على المحور السيني تحصل على منحنى أسي يحقق المعادلة (٩) كما في الشكل (٢). هذا هو رسم بياني (١).

(٥) إذا علمت أن الثابت الزمني هو الفترة الزمنية التي ينخفض فيها لاجهد إلى القيمة $0.37\ V_o$، فاستنتج من رسمك في الخطوة (٤) قيمة الثابت الزمني τ للدائرة المستخدمة في هذه التجربة.

(٦) ارسم العلاقة بين $\ln V$ على المحور الصادي، t على المحور السيني فتحصل بذلك على خط مستقيم يحقق المعادلة (١٠)، وهذا هو رسم بياني (٢)



شكل (٢)

(٧) احسب من رسمك البياني (٢) ميل المستقيم الناتج ومنه استنتج قيمة الثابت الزمن τ.

(٨) احسب القيمة المرجعية للثابت الزمن τ من العلاقة $\tau = R\ c$ وهذه هي القيمة الصحيحة. قارن القيم المستنتجة لـ τ من الرسمين البيانيين (١)، (٢) بالقيمة المرجعية، ثم احسب النسبة المئوية للخطأ في القيمة التجريبية.

ملاحظات واستنتاجات:

(١) لماذا لم نأخذ قراءات الجهد مع الزمن عند شحن المكثف، وفضلنا عمل ذلك عند تفريغ المكثف؟

(٢) القيمة الابتدائية للجهد معلومة من القياسات. يمكن الحصول عليها أيضاً من الرسم البياني (٢)، وضح ذلك مع حسابها من الرسم المذكور.

(٣) إذا افترضنا أن سعة المكثف المعطى مجهولة، فكيف يمكن الحصول عليها من الرسم البياني (٢) إذا علمت المقاومة R. وضح ذلك مع استنتاج قيمة السعة.

(٤) استنتج من الرسم البياني رقم (١) قيمة التيار المار في المقاومة R عند زمن قدره 35 sec مع الشرح والتوضيح على الرسم.

(٥) ما قيمة أعلى تيار مر أثناء قياساتك؟ احسب الزمن اللازم لانخفاض التيار إلى نصف قيمته الابتدائية.

تجربة (٧):

دراسة قانون أوم/ توصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي

هدف التجربة:

١ - تحقيق قانون أوم بدراسة العلاقة بين فرق الجهد والتيار لدائرة كهربية.

٢ - تحقيق قانوني التوصيل على التوالي وعلى التوازي.

الجهاز المستخدم:

مقاومتان إحداهما مجهولة القيمة نسمها R_1، والأخرى معلومة القيمة ولتكن R_2، جهاز لقياس شدة التيار (أميتر)، جهاز لقياس فرق الجهد (فولتميتر)، بطارية (أو مصدر جهد مستمر)، مقاومة متغيرة للتحكم في تغيير شدة التيار (قد تكون المقاومة المتغيرة ملحقة بجهاز مصدر الجهد)، أسلاك توصيل.

نظرية التجربة:

مقاومة موصل تعتمد على عدد من العوامل منها نوع المادة وأبعادها ودرجة حرارتها. في حالة الدوائر الخطية (والتي تتكون من عناصر كالموصلات المعدنية) تكون المقاومة ثابتة عند تثبيت درجة الحرارة وبهذا يكون التيار (I) المار خلال الموصل متناسباً طردياً (علاقة خطية) مع فرق الجهد (V) المستخدم عبر الموصل.

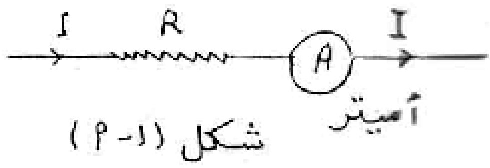
هذه العلاقة تسمى قانون أوم والذي يمكن التعبير عنه رياضياً كالتالي:

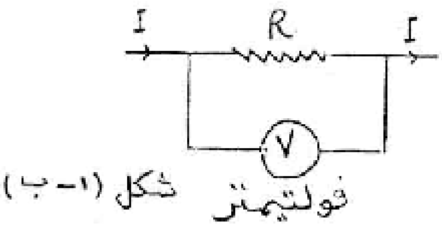
$$I = V/R \qquad (1)$$

R ترمز للمقاومة يمكن استخلاصها من خلال العلاقة المكتوبة وهي: فولت/أمبير وتسمى أوم 1 ohm = 1 Volt/1 Amp، ونرمز لها بالرمز Ω.

هناك بعض حالات نجد فيها أن I لا تتناسب تناسباً طردياً مع V. مثال ذلك في الموصلات المعدنية يكون التيار كبيراً بحيث يسبب ارتفاعاً في درجة حرارة الموصل (درجة الحرارة تكون غير ثابتة) وبالتالي فإن I لا تتناسب طردياً مع V. في هذا النوع من الموصلات لا يتحقق قانون أوم وهذه الموصلات تسمى موصلات غير خطية.

التيار المار خلال موصل مقاومته (R) هو كمية الشحنة المارة خلال الموصل في وحدة الزمن ويمكن قياسه بواسطة الأميتر الذي يوصل في الدائرة على التوالي كما هو موضح في شكل (١ – أ). وكما تلاحظ فإن نفس التيار المار خلال الموصل يمر في جهاز قياس التيار (الأميتر).





أما فرق الجهد فهو الطاقة الناتجة من مرور ودة الشحنات في دائرة، ويمكن قياسه بواسطة جهاز يسمى الفولتميتر والذي يوصل في الدائرة على التوازي كما هو موضح في الشكل (١ – ب).

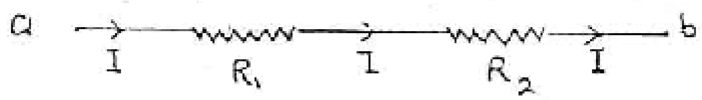
وحدة قياس فرق الجهد هي الفولت (1 Volt = 1 Joul/ 1 coulomb)

توصيل مقاومتين على التوالي:

عند توصيل مقاومتين على التولاي شكل (٢) فإن فرق الجهد الكلي عبر النقطتين (a, b) هو:

$V = V_1 + V_2$

V_1 هو فرق الجهد عبر المقاومة R_1، V_2 هو فرق الجهد عبر المقاومة R_2



شكل (٢)

وحيث أن توصيلهما على التوالي فإن التيار المار فيهما هو نفسه التيار الخارج من المصدر (البطارية) والمار عبر النقطتين (a . b)، وإذا كانت R_s هي المقاومة المكافئة لهما فإنه طبقاً لقانون أوم يكون:

$I R_S = I R_1 + I R_2$

ومنه نجد أن:

$$R_S = R_1 + R_2 \qquad (2)$$

توصيل مقاومتين على التوازي:

عند توصيل مقاومتين (R_1, R_2) على التوازي شكل (٣) يكون فرق الجهد على كل منهما هو نفسه فرق الجهد (V) للمصدر أي عبر النقطتين (a , b) ويتوزع التيار الكلي (I) الخارج من المصدر عليهما:

$I = I_1 + I_2$

فإذا كانت المقاومة المكافئة لهما هي R_P، فإنه طبقاً لقانون أوم يكون:

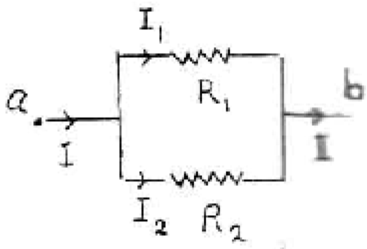
$$\frac{V}{R_P} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

ومنها نجد أن:

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (3)$$

ومنها نجد أن:

$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$



شكل (٣)

خطوات العمل:

(٢) وصل الدائرة كما هو موضح في الشكل (٤).

(٣) غير قيمة V بانتظام باستخدام مجزئ الجهد (المقاومة المتغيرة) وسجل قيمة I المقابلة لها في كل مرة. سجل نتائج قياساتك لكل من I ، V في جدول منظم، سمه جدول (١).

(٤) ارسم بيانياً العلاقة بين V، I مع وضع V على المحور الرأسي. هذا هو رسم بياني (١) إذا حصلت على خط مستقيم فهذا يعني تحقيق مباشر لقانون أوم (V = I R) وهذه معادلة خط مستقيم على الصورة y = mx.

(٥) أوجد قيمة المقاومة المجهولة R_1 وذلك من خلال ميل المستقيم الناتج معك.

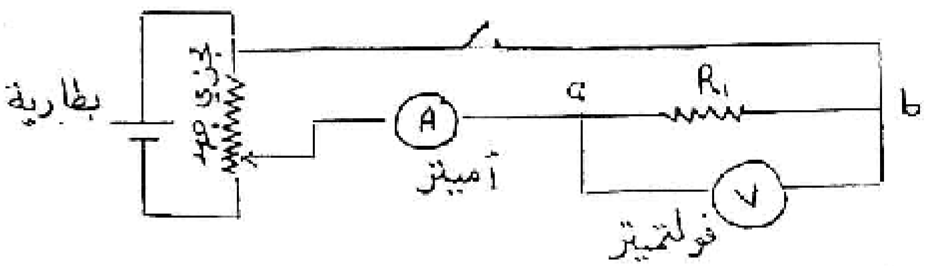
(٦) وصل المقاومتين R_1 , R_2 على التوالي كما في الشكل (٢) وأدمجهما في الدائرة بين النقطتين a ، b بدلاً من المقاومة R_1. غير قيمة V عدة مرات وفي كل مرة سجل قيمة I المقابلة وذلك في جدول منظم وليكن جدول (٢).

(٧) مثل النتائج التي حصلت عليها في الخطوة السابقة على ورقة رسم بياني مستقلة وهذا رسم بياني رقم (٢). استنتج من هذا الرسم قيمة المقاومة المكافئة R_S وذلك من خلال حساب ميل المستقيم الناتج معك.

(٨) احسب قيمة R_S باستخدام المعادلة (٢). باعتبار هذه القيمة للمقاومة المكافئة هي الصحية احسب الخطأ المئوي في القيمة التجريبية المستنجة لـ R_S في الخطوة السابقة.

(٩) وصل المقاومتين R_1، R_2 على التوالي بدلاً من توصيلهما على التوالي ثم سجل العلاقة بين V ، I في جدول منظم وليكن جدول (٣). ثم مثل هذه العلاقة أيضاً بيانياً وهذا هو رسم بياني (٢). من هذا الرسم استنتج قيمة المقاومة المكافئة R_P.

(١٠) احسب قيمة R_P من المعادلة (٤) وباعتبار هذه القيمة هي الصحيحة احسب الخطأ المئوي في القيمة التجريبية في الخطوة (٨).



شكل (٤)

أسئلة وملاحظات:

(١) لماذا يتم توصيل الأميتر على التوالي بينما الفولتميتر يتم توصيله على التوازي؟ ما هي المخاطر التي تنجم إذا حصل العكس؟

(٢) اختر قيمتين لـ I في حالة التوصيل على التوالي (جدول ٢)، ثم استنتج قيم كل من V_1 على R_1، V_2 على R_2 (وذلك باستخدام قانون أوم)، ثم اجتمع V_1+V_2 وذلك لكل قيمة لـ I. قارن هذه النتيجة بفرق الجهد بين

طرفي المصدر في كل حالة (أي بـــ V المقابلة لكل I في جدول ٢). ماذا تلاحظ؟ هل ما لاحظته متوقع؟

(٣) اختر قيمتين لـــ V في حالة التوصيل على التـــوازي (جـــدول ٣) ثـــم استنتج قيم كل من I_1 في R_1، I_2 في R_2، ثم اجمع $I_1 + I_2$ وذلـــك لكـــل قيمة لـــ V. قارن النتيجة بقيمة I الخارج من المصدر في كل حالة (أي بـــ I في جدول ٣). سجل ملاحظاتك. هل ما لاحظته يتفق مع المتوقع؟

(٤) تعرف القدرة بأنها معدل الشغل المبذول (ووحدتها في النظـــام الـــدولي للوحدات هي جول/ثانية J/S) وتعطى بالعلاقة: $P = IV$ (ما هي الوحدات الأخرى للقدرة من خلال هذه العلاقة؟).

من قيمة واحدة لـــ I اخترتها في السؤال (٢) احسب: القدرة P_1 للمقاومـــة R_1، P_2 خلال R_2 ثم قارن مجموعهما بالقدرة P خلال المقاومة المكافئة R. ماذا تلاحظ؟ ما هو المبدأ الفيزيائي الذي يتحقق هنا؟

(٥) من قيمة واحدة لـــ V اخترتها في الفقرة (٣) عين أيضاً قيم كـــل مـــن P_1، P_2 ثم P ثم سجل ملاحظاتك عن $P_1 + P_2$ و P. ما هو تعليقك على هذه الملاحظة؟

تجربة (٨):

استخدام صندوق البريد لإيجاد مقاومة مجهولة

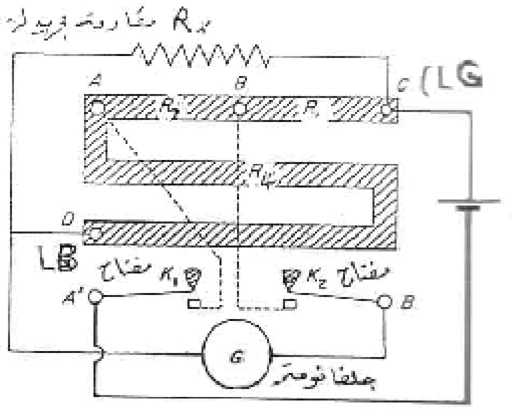
هدف التجربة:

التدريب على استخدام قنطرة (جسر) هويتستون لقياس مقاومة مجهولة.

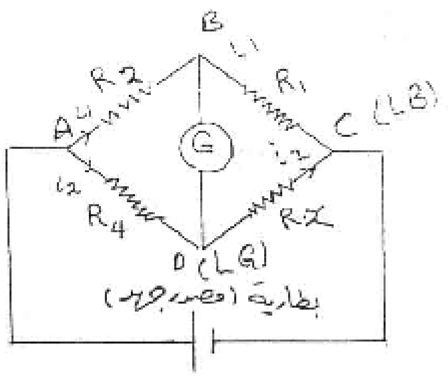
قياس المقاومة النوعية لموصل بدراسة العلاقة بين مقاومة موصل وكل م طوله ومساحة مقطعه.

الأجهزة المستخدمة:

صندوق البريد ويوضحه شكل (١) وهو صندوق يضم ثلاث صناديق مقاومات عيارية هي: R_1, R_2 , R_3، يمكن نزع قيم محددة منها، مجموعة مقاومات مجهولة ومن بينها أسلاك من النيكل-كروم أو مادة الكونستنتان عالية المقاومة، أسلاك توصيل، مقياس جلفانومتر (أو فولتميتر) حساس مركزي القراءة.



شكل (١)



شكل (٢)

وصندوق البريد هو تطبيق عملي مباشر لقنطرة هويتستون، حيث توضع الثلاث أذرع للقنطرة R_1، R_2 ، R_4 في صندوق واحد مرتبة على شكل حرف S كما هو موضح في الشكل (١). الذراع الرابع عبارة عن المقاومة

المجهولة R_x والتي توضع بين النقطتين LG، LB. المقاومتان R_1، R_2 تمثلان ذراعي النسبة. ويمكن أن يأخذ أي منها القيم الآتية: 10, 100, 1000Ω بينما المقاومة R_4 يمكن أن تأخذ أي قيمة تتراوح بين 1-1000 Ω أو أكثر.

تلاحظ على الرسم الرمز:

L تمثل الحمل (المقاومة المجهولة R_x)

Q ترمز للجلفانومتر

B ترمز للبطارية

نظرية التجربة:

يوضح شكل (٢) رسماً تخطيطياً لقنطرة هويتستون. عند غلق الدائرة الكهربية والحصول على حالة الاتزان وهي الحالة التي ينعدم فيها انحراف مؤشر الجلفانومتر (أي يبقى عند الصفر) يتساوى جهدا النقطتين B, D مما يعني انعدام مرور التيار في الجلفانومتر، وفي هذه الحالة نجد أن:

فرق الجهد بين النقطتين A, B يساوي فرق الجهد بين النقطتين A, D

$V_{AB} = V_{AD}$ ومنها نجد أن:

$$i_1 R_2 = i_2 R_4 \qquad (1)$$

وكذلك فرق الجهد بين لنقطتين B, C يساوي فرق الجهد بين النقطتين D, C

$V_{BC} = V_{DC}$ ومنها نجد أن:

$$i_1 R_1 = i_2 R_x \qquad (2)$$

وبقسمة المعادلة (١) على المعادلة (٢) نحصل على:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_x} \quad (3)$$

ومنها نحصل على:

$$R_x = R_4 \frac{R_1}{R_2} \quad (4)$$

والمعادلة (٣) أو المعادلة (٤) تمثل الشرط اللازم لاتزان قنطرة هويتستون.

المقاومة النوعية لمادة موصلة:

يتم في هذه التجربة حساب المقاومة (ρ) النوعية لسلك موصل إذا علم طوله ومساحة مقطعه وعلم أيضاً مقاومته R التي يتم قياسها باستخدام قنطرة هويتستون.

من المعروف أن مقاومة سلك ما تزداد كلما زاد طوله (L) أي R α L

وتقل كلما زادت مساحة مقطعه (A) أي:

$$R a \frac{1}{A}$$

وبالتالي فإن $R a \frac{L}{A}$ وبهذا فإن:

$$R = r \frac{L}{A} \quad (5)$$

ρ هو ثابت التناسب ويمثل المقاومة النوعية. وتعتمد قيمته على كل من نوعية مادة السلك ودرجة الحرارة، وهو من الخصائص الفيزيائية المميزة لمادة السلك.

من المعادلة (٥) نجد أن:

$$r = R\frac{A}{L} \quad (6)$$

من هذه المعادلة نجد أن وحدات المقاومة النوعية في النظام الدولي للوحدات هي أوم-متر (Ω-m).

خطوات العمل:

أولاً: قياس مقاومة مجهولة:

(١) صل الدائرة الكهربية الموضحة في أحد الشكلين (١ أو ٢).

(٢) تأكد من صحة التوصيل وذلك بجعل $R_1 = R_2 = 10\ \Omega$ (يتم ذلك بنزع مسامير القيم المذكورة) وجعل R_4 عند أعلى قيمة لها (يتم ذلك بنزع مسمار ألـــinf) ثم تغلق مفتاح الدائرة ولاحظ اتجاه انحراف مؤشر الجلفانومتر. بعد ذلك اجعل R_4 عند أصغر قيمة لها وذلك بإعادة مسمار ألـــinf إلى موضعه ثم قفل الدائرة وملاحظة اتجاه انحراف المؤشر، فإذا كان الانحراف هذه المرة بعكس الاتجاه الأول كان ذلك دليلاً على صحة التوصيل.

(٣) اجعل قيمة $R_1 = R_2 = 10\ \Omega$، ثم غير في قيمة المقاومة R_4 حتى الحصول على أحسن توازن ويتم ذلك إما بانعدام انحراف المؤشر وانطباقه على الصفر أو قريباً منه أو وقع الاتزان بين قيمتين متتاليتين (مثل $2, 3\ \Omega$) كأن ينحرف المؤشر عند القيمة 2 في اتجاه وعند القيمة الأخرى في الاتجاه المعاكس. سجل نتائجك بطريقة منظمة ومرتبة.

لاحظ عند تغيير قيمة R_4 يجب أن يكون مفتاح الدائرة مفتوحاً، وينبغي إغلاقه برفق بعد التغيير. كرر ذلك حتى الحصول على الاتزان كل مرة.

(٤) احسب قيمة المقاومة المجهولة R_x وذلك باستخدام المعادلة (٤) باعتماد قيمة R_4 الأقرب لوضع الاتزان.

(٥) كرر الخطوات السابقة مع جعل $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 100\ \Omega$، ثم سجل قيمة R_4 المناظرة لأحسن اتزان. واحسب قيمة R_x باستخدام المعادلة (٤). هذه المرة ستحصل على قيمة للمقاومة المجهولة بدقة تصل إلى جزء من عشرة من الأوم.

(٦) كرر الخطوات السابقة مع جعل $R_1 = 10\Omega$، $R_2 = 1000\ \Omega$، وغير في R_4 حتى تحصل على نقطة التوازن المطلوبة والتي تعطي أدق قيمة ممكنة للمقاومة R_x من المعادلة (٤) حيث تصل هنا إلى جزء من مائة من الأوم.

يمكنك تسجيل نتائجك في جدول كالآتي:

جدول (١)

R_1	R_2	R_4	R_x
10	10		
10	100		
10	1000		

ثانياً: تعيين المقاومة النوعية:

(١) استخدم نفس الدائرة المستخدمة سابقاً مع استبدال المقاومة المجهولة R_x بأحد الأسلاك المعطاة لك والتي رمز لها بالرموز a, b , c.

(٢) سجل طول كل سلك L وقطر مقطعه ثم عين نصف قطره r، ثم احسب مساحة مقطعه من العلاقة: $A = \pi r^2$. سجل نتائج حساباتك بطريقة منظمة.

(٣) عين مقاومة كل سلك (R_a, R_b, R_c) بالطريقة المتبعة في الجزء الأول.

(٤) استخدم المعادلة (٦) لحساب المقاومة النوعية ρ لكل من الأسلاك المدروسة.

يمكنك تسجيل نتائجك في جدول كالآتي:

جدول (٢)

مقاومته النوعية	طوله L (m)	$A = \pi r^2$ (m^2)	r (m)	قطره 2r (m)	مقاومته R Ω	رمز السلك

أسئلة وملاحظات:

١ - أي الطريقتين أدق في تعيين مقاومة المجهولة:

أ - باستخدام قنطرة هويتستون.

ب - باستخدام الطريقة المتبعة في تجربة (٣)، ولماذا؟

٢ - ما هي العوامل التي تحدد دقة وصحة نتائج قنطرة هويتستون؟

٣- ارسم مسار التيار الكهربي عند انحراف مؤشر الجلفانومتر إلى اليمين في حالة عدم الاتزان مستخدماً الرسم التخطيطي شلك (٢) مبتدئاً من خروج التيار من القطب الموجب وحتى عودته إلى المصدر.

٤- هل يمكن في حالة عدم الاتزان معاملة المقاومات المتصلة ببعضها في قنطرة هويتستون على أنها تشكل من الاتصال على التوالي أو على التوازي أو كليهما؟

٥- هل تتغير قيمة المقاومة النوعية إذا تغير طول السلك؟ هل لاحظت ذلك تجريبياً هل المعادلة رقم (٥) تتفق مع ملاحظاتك التجريبية.

٦- ماذا تتوقع لقيمة المقاومة النوعية إذا زاد قطر السلك، تزيد أم تقل، ولماذا؟

تجربة (٩):

استخدام قنطرة التيار المتردد (قنطرة ماكسويل)

في تعيين سعة مكثف مجهول

الهدف من التجربة:

استخدام التيار المتردد لإيجاد سعة مكثف مجهول

الجهاز المستخدم:

مصدر جهد متـــردد (٥٠٠ هرتـــز)، مقاومتـــان متـــساويتان ($R_1 = R_2 =$ 12kΩ)، صندوق مكثف متغير السعة (C_1)، جهاز أفوميتر لقيـــاس الجهـــد المتردد (AC Voltmeter)

نظرية التجربة:

التيار المتردد تيار يتغير جيبياً مع الزمن وفقاً للمعادلة الآتية:

$$i = i_m \sin(w\,t) \qquad (1)$$

i التيار المتغير، i_m سعة التيار أي أعلى قيمة للتيار، ω قيمة التردد الزاوي للمصدر، وحدته Rad/s حيث $\omega = 2\,\pi\,f$، f التردد ووحدته Hz.

عند مرور التيار المتردد في مقاومة فإن فرق الجهد المتـــردد بـــين طرفـــي المقاومة يعطى بتطبيق قانون أوم.

$$V = iR = i_m R \sin(w\,t) \qquad (2)$$

وعند مرور هذا التيار في المكثف يكون فرق الجهد بين سطحي المكثف

$$V_c = \frac{q}{C} = \frac{\int idt}{C} = -\frac{i_m}{w\ C}\cos(w\ t) \qquad (3)$$

$$= \frac{i_m}{w\ C}\sin(w\,t - p\ /2)$$

لاحظ هنا أن V, i يتفقان في الطور عند مرور التيار المتردد في المقاومة R بينما هناك اختلاف في الطور بينهما عند مرور التيار في المكثف.

نورد مزيد من التفصيل على هذه النقطة في فقرة الملاحظات:

بمقارنة المعادلتين (٢) و (٣) نجد أن المقاومة R يقابلها في المكثف المعاوقة السعوية ونرمز لها بالرمز χ_C حيث:

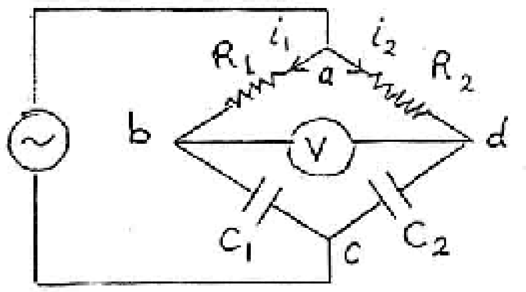
$$c_C = \frac{1}{w\ C} \qquad (4)$$

ويمكن إثبات أنها تأخذ نفس وحدات المقاومة وهي الأوم مع ملاحظة أن سعة المكثف تكن بالفاراد.

في تجربتنا هذه سنقوم باستخدام قنطرة ماكسويل لإيجاد سعة مكثف مجهول من خلال الحصول على حالة توازن للقنطرة. ثم نعين هذه السعة أيضاً بطريقة أخرى وهي طريقة مباشرة لإيجاد سعة المكثف عن طريق تعيين معاوقته بتطبيق قانون أوم.

لاحظ أنه سبق وأن استخدمنا فكرة قنطرة هويتستون في تعيين مقاومة مجهولة، ونستخدم هنا نفس الفكرة، لكن باستخدام تيار متردد (قنطرة ماكسويل).

يوضح شكل (١) رسم تخطيطي لقنطرة ماكسويل في دائرة القنطرة هذه يكون شرط الاتزان هو أن فرق الجهد بين النقطتين d, b يساوي الصفر وهذا يعني أنه لا يوجد تيار يمر بين هاتين النقطتين أي أن جهد النقطة b = جهد النقطة d، وبالتالي فإن التيار i_1 سوف يمر في كل من المقاومة R_1 والمكثف الأول C_1، وكذلك التيار i_2 يمر في R_2 و C_2 وطبقاً لشرط التوازن فإن:



شكل (١)

$V_{ab} = V_{ad}$، وكذلك $V_{bc} = V_{dc}$، وهذا يعني أن:

$$i_1 R_1 = i_2 R_2 \qquad (5)$$

أي

$$i_1 c_{C_1} = i_2 c_{C_2} \qquad (6)$$

$$i_1 \times \frac{1}{wC_1} = i_2 \times \frac{1}{wC_2} \qquad (7)$$

وبقسمة المعادلة (٥) على المعادلة (٧) نحصل على: $R_1 C_1 = R_2 C_2$ أو

$$C_2 = \frac{R_1}{R_2} C_1 \qquad (8)$$

خطوات العمل:

أ – قياس السعة باستخدام قنطرة ماكسويل:

١ - وصل الدائرة كما في الشكل (١) مع جعل المقاومة $R_1 = R_2 = 12$ kΩ، وتردد المصدر 500 Hz

٢ - طبق أقصى قيمة للجهد الجيبي (المتردد) من مولد الذبذبات (مصدر التيار المتردد).

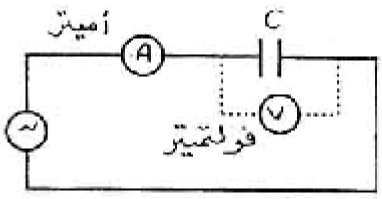
٣- أعمل الترتيبات اللازمة للتحكم في جهاز الأفوميتر لقياس فرق الجهد بين النقطتين (b, d).

٤- غير في قيمة C_1 من صندوق السعة حتى تصل إلى أقل قيمة لفرق الجهد بين النقطتين b, d

٥- زود من حساسية الأفوميتر وتأكد من أن C_1 تصل إلى أقل قيمة تماماً ثم سجل هذه القيمة.

٦- استعمل معادلة رقم (٨) لحساب قيمة سعة المكثف المجهول C_2 (في حالة تعيين سعة مكثف مجهول آخر يمكن أن تسمى C_2 بـ C_{x1} , C_{x2})

ب- تعيين سعة المكثف باستخدام قانون أوم والتيار المتردد:



شكل (٢)

١- صل الدائرة الموضحة في شكل (٢).

٢- اضبط مولد الذبذبات الجيبية على تردد مقداره f = 500 Hz

٣- اجعل الأفوميتر على وضع الجهد المتردد، ثم استخدمه لقياس فرق الجهد على طرفي المكثف وثبت فرق الجهد بواسطة مفتاح التحكم في اتساع الموجة الموجودة بمولد الذبذبات وليكن $V_C = 5$ Volt وسجل هذه القيمة.

٤- عدل جهاز الأفوميتر ليكون في وضع قياس شدة التيار المتردد ثم وصله في الدائرة بالطريقة الموضحة في شكل (٢). قس قيمة التيار المار في المكثف i_c، وسجل هذه القيمة.

٥- احسب قيمة المعاوقة السعوية للمكثف باستخدام قانون أوم:

$$R_c = c_c = \frac{V_C}{i_c}$$

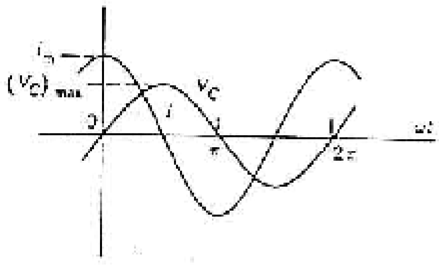
٦- استخدم المعادلة (٤) لحساب سعة المكثف المجهول مع ملاحظة أن

$$w = 2p\ \ f$$

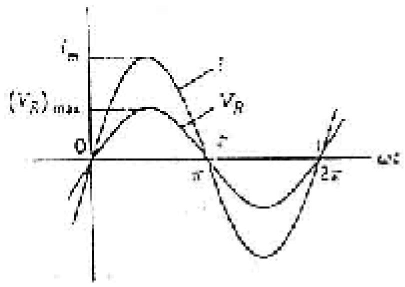
ملاحظات وأسئلة:

(١) يلاحظ أن التيار المتردد المار في المقاومة يتفق في الطور مع الجهد المتردد عليها وفق المعادلتين (١)، و(٢) والشكل (٣) يوضح المنحنى الجيبي لهما.

أما إذا مر هذا التيار في المكثف فإن التيار i والجهد المتردد V_2 يختلفان في الطور بمقدار $(\pi/2)$ بمعنى أن التيار يتقدم على الجهد بزاوية $90° = \pi/2$. والشكل (٤) يوضح المنحنى الجيبي لهما وفارق الطور بينهما.



شكل (٤)



شكل (٣)

(٢) هل التيار أو (فرق الجهد) الذي قسته بالأفوميتر يمثل القيمة العظمى i_m أو (V_m) أي السعة أو يمثل القيمة المتغيرة i أو (V)؟ لاحظ أنه يمكن استبدال الأفوميتر بالأوسيلسكوب لقياسات V.

(٣) ماذا يحدث لو استبدلنا مصدر التيار المتردد في الحالة (ب) بمصدر تيار مستمر؟ هل يمر تيار في الدائرة؟ وهل يمكننا قياس الجهد على طرفي المكثف؟ ما هي قيمة المعاوقة في هذه الحالة؟ مع توضيح إجابتك.

(٤) أي الطريقتين أدق في تعيين سعة المكثف المجهول (أ) أو (ب)؟ للإجابة على السؤال استخدم تعيين نسبة الخطأ المئوي في نتائجك ويلزمك في هذه الحالة معرفة القيمة المرجعية لسعة المكثف أسأل عنها المشرفين على المعمل.

تجربة (١٠):

دراسة قوانين كيرتشوف

الهدف من التجربة:

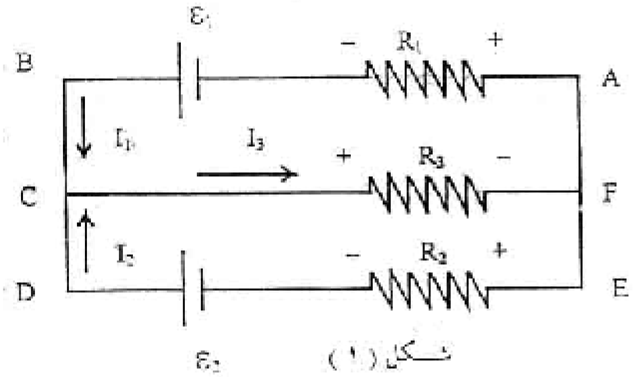
تطبيق قوانين كيرتشوف على دائرة تيار مستمر (DC circuit) والتي فيها لا يتم توصيل المقاومات على التوالي أو على التوازي.

الأجهزة المستخدمة:

ثلاث مقاومات قيمها معلومة (في هذه التجربة هي: $R_1 = 47\ \Omega$, $R_2 = 82\ \Omega$, $R_3 = \ \Omega$)، مصدري جهد مستمر (أو بطاريتان) القوة الدافعة لهما $e_2 = 6\,Volt$، $e_1 = 3\,Volt$، جهازان أحدهما لقياس التيار المستمر (DC ammeter)، والآخر لقياس فرق الجهد (DC voltmeter)، مجموعة أسلاك توصيل.

نظرية التجربة:

في تجربة رقم (١) تم دراسة توصيل مقاومتين مرة على التوالي ومرة على التوازي. لكن هناك العديد من دوائر التيار والتي يتم فيها توصيل المقاومات بأكثر من مصدر جهد والتي لا يمكن تجزئتها إلى مقاومات متصلة على التوالي أو على التوازي، وبالتالي لا يمكن في مثل هذه الحالة تطبيق قوانين التوصيل على التوالي أو على التوازي. الدائرة الموضحة في الشكل (١) تعبر مثالاً لمثل هذا النوع من الدوائر.



شكل (١)

قانون كيرتشوف الأول (**قاعدة العقدة**): (Kirchhoff's First Rule)

يتبع هذا القانون مبدأ حفظ الشحنة، حيث لا يمكن أن تتراكم الشحنة عند أي نقطة في دائرة في دائرة مقاومة كما أنه لا تفنى عند أي نقطة في تلك الدائرة. من هذا تكون صياغة قاعدة كيرتشوف الأولى:

((مجموع التيارات الداخلة إلى عقدة (نقطة) ما في دائرة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها)) أو المجموع الجبري للتيارات المتلاقية عند نقطة في دائرة ما = صفر. رياضياً نعبر عن هذا $\sum I = 0$.

لاحظ أن الشكل (١) يحتوي على نقطتين ينطبق عندها هذا القانون هما: C, F **وعند تطبيق القانون على أي منهما نجد أن:**

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

قانون كيرتشوف الثاني (**قاعدة العروة**): (Kirchhoff's Second Rule)

يتبع هذا القانون مبدأ حفظ الطاقة، فعند حمل أي شحنة وتحركها خلال مسار مغلق في دائرة كهربية فإن هذه الشحنة تفقد قدراً من الطاقة مثل اقدر الذي كسبته. طاقة الشحنة يمكن أن تقل في صورة انخفاض في الجهد RI - **عندما تمر خلال مقاومة في الدائرة. ويمكن أن تزداد طاقة الشحنة في صورة جهد مكتسب وذلك عند مرورها من القطب السالب إلى القطب الموجب خلال**

مصدر للقوة الدافعة الكهربية (بطارية). من هـذا تكـون صـياغة قاعـدة كيرتشوف الثانية هي:

((في أي مسار مقفل في دائرة كهربية فإن المجموع الجبـري للارتفاعـات والانخفاضات في الجهد الكهربي يساوي صفراً)).

العروة أو المسار المقفل يتحدد بالبدء من نقطة في أي دائرة والانتهاء عنـد نفس النقطة ولك حرية اختيار طريقة التحرك إما في اتجاه دوران عقـارب الساعة أو في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، أمثلة على ذلك في الشكل (١) نحدد المسارات المقفلة الآتية: ABCFA وهو في اتجاه دوران عقارب الساعة، DCFED وهو في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة. والمسار ABDEA

إشارات التغير في الجهد الكهربي:

الارتفاع في الجهد الكهربي يعطي إشارة موجبة (+) والانخفاض في الجهـد له إشارة سالبة (-).

ويتحدد ذلك كالآتي: عند الانتقال عبر مقاومة R يمر فيها التيار I. فإذا كان المسار الذي اخترته في اتجاه معاكس لاتجاه مرور التيار فهذا يعني ارتفـاع في الجهد لأن التيار يسري من النقاط العالية في الجهد إلى النقاط الأقل جهداً ويكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة في هذه الحالة (+IR)، أما إذا كـان المسار المختار هو في نفس اتجاه التيار فهذا يعني انخفاض في الجهد ويأخذ فرق في هذه الحالة إشارة سالبة (IR -).

أما بالنسبة للقوة الدافعة (ε) فإنها تأخذ إشارة موجبة إذا انتقلنا في المسار المختار من القطب السالب إلى الموجب (ارتفاع في الجهد) وتأخـذ إشـارة سالبة إذا كان الانتقال من القطب الموجب إلى السالب (انخفاض في الجهد).

تطبيق قاعدة كيرتشوف الثانية على الشكل (١):

العروة (المسار المقفل) ABCFA : (2)......... $- I_1R_1 + \varepsilon_1 - I_3R_3 = 0$

العــروة (المــسار المقفل) ABDEA : (3)....... $- I_1R_1 + \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I_2R_2 = 0$

العــروة (المــسار المقفل) CFEDC : (4)........... $- I_3R_3 + I_2R_2 + \varepsilon_2 = 0$

ولإيجاد قيم التيارات المجهولة (I_1 , I_2 , I_3) نحتــاج إلــى ثــلاث معــادلات وبالإمكان اختيار أي ثلاث معادلات من الأربع معادلات الــسابقة. وســنختار نحن المعادلات (1) , (2), (3). الكميــات $(\varepsilon_2 , \varepsilon_1 , R_1 , R_2 , R_3)$ تعتبــر كميات معلومة.

نعوض من المعادلة (١) في المعادلة (٢) فنحصل على:

$- I_1R_1 + \varepsilon_1 - (I_1 + I_2) = 0$ أو

$- I_1 (R_1 + R_3) + \varepsilon_1 - I_2 R_3 = 0$

ومنها نجد أن:

$$I_2 = \frac{e_1 - I(R_1 + R_3)}{R_3} \qquad (5)$$

الآن نعوض من المعادلة (٥) في المعادلة (٣)، وبعد تنظيم المعادلة نحــصل على:

$$I_1 = \frac{R_3(e_1 - e_2) + e_1R_2}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} \qquad (6)$$

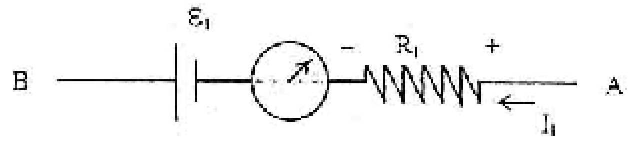
المعادلة (٦) تعطي القيمة النظرية لــ I_1، وبالتعويض في المعادلتين (٥) و (١) نحصل على القيم النظرية لكل من I_3 , I_2.

خطوات العمل:

(١) وصل الدائرة الموضحة في شكل (١)

(٢) تأكد من قيم المقاومات المعطاة لك (R_1, R_2, R_3)، وكذلك من قيم ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$)، ثم سجلها بطريقة منظمة في ورقة تقريرك.

(٣) وصل جهاز الأميتر على التوالي بين R_1، ε_1 كما في الشكل (٢) وذلك لقراءة التيار المار في المقاومة R_1، سجل قراءة التيار هذه وهي تمثل القيمة التجريبية لـ I_1 (اجعل قياساتك بالأمبير).

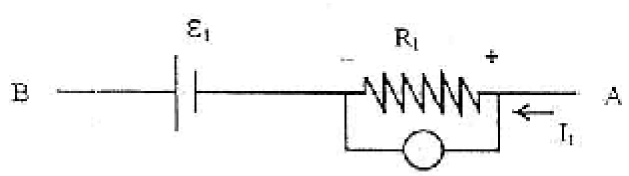


شكل (٢)

(٤) أنقل جهاز الأميتر وصله الآن على التوالي أيضاً بين R_2، ε_2، سجل قيمة التيار المار في المقاومة R_2 بالأمبير. هذه هي I_2 التجريبية.

(٥) أنقل جهاز الأميتر ووصله الآن على التوالي بين المقاومة R_3 والنقطة C أو بين R_3 والنقطة E وسجل قيمة التيار المار في المقاومة R_3 وهذه هي قيمة I_3 التجريبية.

(٦) وصل جهاز الفولتميتر بين طرفي المقاومة R_1 لقياس فرق الجهد بين طرفيها كما في شكل (٣)، وسجل قراءة فرق الجهد عبر هذه المقاومة وهذه هي V_1 التجريبية.



شكل (٣)

(٧) كرر الخطوة السابقة بنقل جهاز الفولتميتر إلى كل من المقاومتين R_2 أو R_3 وسجل القيم التجريبية V_2 عبر R_2 و V_3 عبر R_3.

(٨) احسب قيمة I_1 النظرية مستخدماً المعادلة (٦) ومستخدماً القيم المعلومة لكل من المقاومات والقوى الدافعة الكهربية لمصادر الجهد.

(٩) احسب أيضاً القيمة النظرية لـــ I_2 مستخدماً المعادلة (٥).

(١٠) احسب القيمة النظرية لـــI_3 مستخدماً المعادلة رقم (١).

(١١) مستخدماً القيم النظرية للتيارات I_1، I_2، I_3 طبق قـــانون أوم ($V = I R$) لحساب القيم النظرية لفروق الجهد V_1 ، V_2 ، V_3

(١٢) باعتبار القيم النظرية لكل من التيارات وفـــروق الجهـــد هـــي القـــيم المرجعية (الحقيقية) احسب الخطأ المئوي في القيم التجريبية.

سجل نتائج قياساتك وحساباتك في جدول منظم كالآتي:

أولاً: القيم المعلومة

$R_1 = \Omega$, $R_2 = \Omega$, $e_1 = \quad volt$, $e_2 = \quad volt$

ثانياً: القيم المقاسة تجريبياً والمحسوبة نظرياً:

القيم	V_3(volt)	V_2(volt)	V_1(volt)	I_3(Amp.)	I_2(Amp.)	I_1(Amp.)
التجريبية						
النظرية						
الخطـــأ المئوي						

ملاحظات وأسئلة:

١ - لاحظ أن القيم النظرية للتيارات محسوبة بتطبيق قوانين كيرتشوف.

٢ - لاحظ أن اتجاه التيار المفروض في أي رعوة في الدائرة قد يكون خاطئاً ونستدل على هذا الخطأ أن القيمة المحسوبة للتيار تكون سالبة الإشارة في مثل هذه الحالة لا داعي لإعادة الحسابات وإنما عليك تعديل اتجاه التيار ليأخذ الاتجاه المعاكس للاتجاه المفروض وتبقى القيمة كما هي.

٣ - على ماذا يدل تطابق أو (تقارب) القيم النظرية مع القيم التجريبية؟

٤ - استخدم نتائج قياساتك (القيم التجريبية) وطبق قاعدة كيرتشوف الثانية على العروة العليا في شكل (١) مع جعل اتجاه انتقالك في العروة مع اتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة. ماذا تلاحظ؟

٥ - اعتبر قيمة المقاومة R_2 مجهولة، طبق قاعدة كيرتشوف الثانية على العروة السفلى في شكل (١) أي معادلة (٤) لإيجاد قيمة هذه المقاومة مستخدماً القيمة المقاسة تجريبياً للتيارات والقيم المعطاة للمقاومة R_3 وللقوة الدافعة في هذه العروة.

هل قيمة R_2 اختلفت كثيراً عن القيمة المعطاة؟ عين الخطأ المئوي في قيمة R_2 التي استنتجتها باعتبار القيمة المعطاة هي القيمة المرجعية.

تجربة رقم (١١):

دراسة المحول الكهربي (الترانسفورمر)

TRANSFORMER

الهدف من التجربة:

التعرف على فكرة وقوانين المحول الكهربي.

الخلفية النظرية:

ينطبق قانون فاراداي على عمل المحول الكهربي "الترانسفورمر" وذلك بتطبيق جهد متغير V_1 في الملف الابتدائي الذي تكون عدد لفاته N_1 لتوليد جهد متغير V_2 في الملف الثانوي الذي تكون لفاته N_2 وبما أن:

$$e_1 = N_1 \frac{dJ}{dt} = V_1 \quad (1)$$

$$e_2 = N_2 \frac{dJ}{dt} = V_2 \quad (2)$$

بافتراض أن معدل الفيض المتغير $\frac{dJ}{dt}$ يتخلل كلاً من الملف الابتدائي والملف الثانوي.

ومن المعادلتين (١) ، (٢) نجد أن نسبة التحويل الإسمية=

$$K = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

وبالتحكم في عدد لفات الملف الثانوي بالنسبة للملف الابتدائي يمكن توليد جهد أكبر أو أقل من جهد المصدر.

وبما أن معدل الطاقة الابتدائية هو $P_{in} = V_1 I_1$ ومعدل الطاقة في الملف الثانوي هي $P_{out} = V_2 I_2$ حيث أن I_1، I_2 هما شدة التيار في كل من دائرة الملف الابتدائي والملف الثانوي فإن كفاءة المحول η تعرف بالآتي:

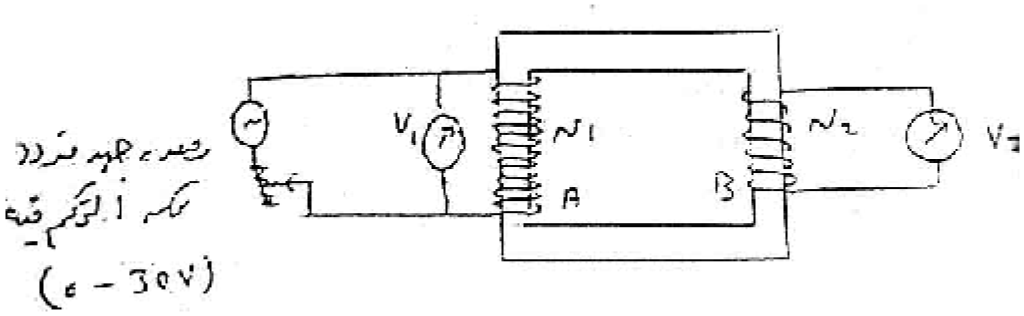
$$h = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} = \frac{N_2 I_2}{N_1 I_1} \quad (4)$$

الأجهزة:

ترانسفورمر مكون من ملفين أحدهما به 1000 لفة والآخر 250 لفة.

وقلب حديد مطاوع – مصدر متردد من صفر إلى 30 فولت. فــولتميتر (0- 30V) مفتاح ذو خطين وقطبين.

خطوات التجربة:



شكل رقم (١)

١ - ركب الملفين على الحديد المطاوع كما في الشكل (١) ولتكن عدد لفاتهما N_2, N_1 اقفل دائرة القلب المطاوع، وصل الملف الأكبــر مــع المــصدر المتردد.

٢ - وصل الفولتميتر بحيث يمكن قياس فرق الجهد بين طرفي كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي.

٣ - ابدأ بفرق جهد منخفض ٤ فولت مثلاً، سجل في جدول مقدار كل من V_1، V_2 ولتكن زيادة V_1 من ٤ فولت إلى ما يقرب من ٣٠ فولت وسجل القراءات المقابلة V_2.

٤ - ارسم رسماً بيانياً يوضح العلاقة بين V_1، V_2 وأوجد ميل الخط المستقيم وتأكد أن القيمة K المستنتجة من الرسم تساوي النسبة بين عدد لفــات الملف الابتدائي والملف الثانوي.

٥ - هل النسبة مساوية لما يمكن أن تحصل عليه من عدد اللفات المكتوبــة على الملفين؟ علق على النتائج.

٦ - أجب على الأسئلة الآتية:

(أ) هل هذا المحول يعتبر رافعاً أو خافضاً للجهد؟

Step up or step down transformer

(ب) إذا كانت نسبة التحويل معولمة ولتكن 24.44 عين قيمة جهد المنبع لقيم مختلفة من جهد الملف الثانوي.

(ج) إذا كان لدينا جهد كبير قيمته ٦٦٠ فولت ومقياس للجهد ذي مدى متغير قيمته ١١٠ فولت احسب نسبة عدد لفات الملف الابتدائي إلى عددهم في الملف الثانوي لمحول بدون فقد.

(د) ماذا يحدث لو وصلنا المصدر بالملف الذي تكون عدد لفاته N_2 وتحصلنا على فرق جهد بين طرفي الملف A الذي لفاته N_1؟

(هـ) ما هي الفائدة من استخدام قلب من الحديد المطاوع للمحول؟

(و) لماذا يصنع هيكل الحديد المطاو المحول المستخدم تجارياً من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها بورنيش لاصق بدلاً من أن يكون الهيكل من كتلة واحدة من الحديد المطاوع؟

يعتبر المجال المغناطيسي المتولد بالقلب الحديد لمحول الجهد ثابتاً لأنه يعتمد على الجهد الابتدائي كما تعتبر قدره المحول وتيار الإثارة والفقد بالحديد جميعاً عوامل ثابتة في محولات الجهد مادام أن الجهد الابتدائي ثابتاً غير أن هذه العوامل تتغير في معظم الأحيان فتؤدي إلى وجود خطأ في نسبة التحويل الأسمية وزاوية الإزاحة (زاوية الطور) للمحول.

الخطأ في نسبة التحويل:

١ - يتبين أن العلاقة (٣) تمثل نسبة التحويل الأسمية للمحول المثالي والذي يفترض تشغيله عند ظروف ثابتة من حيث الجهد والتردد ولكن من الصعب حدوث ذلك عملياً وعلى ذلك فإن V_1 لا تساوي kV_2

∴ الخطأ في نسبة التحويل $$100\times\frac{kV_2-V_1}{V_1}=K$$

٢ - عين K بدلاً من N_1 ، N_2

٣ - خذ قيم مختلفة لـــ V_1، V_2 وعين بدلالة العلاقة السابقة نسبة الخطأ.

إيجاد كفاءة المحول:

١ - استخدام العلاقة (٤) لإيجاد كفاءة هذا المحول. عليك باستبدال الفولتميتر في الدائرة رقم (١) بمقياس التيار المناسب "أميتر مناسب"، توصيله في الدائرة بالطريقة الصحيحة وقياس I_1، I_2 ثم حساب الكفاءة η ثم افــتح دائرة الحديد المطوع برفع القضيب العلوي وأوجد مقدار كفاءة المحول η لهذه الحالة.

٢ - علق على النتيجة التي تحصل عليها واذكر إذا كانت الكفاءة تعتبر عالية أو منخفضة في حالة استخدام دائرة الحديد المطاوع واشرح كيف يمكــن تحسبها.

نتائج وإجابات:

م. كفاءة المحول مع استخدام الدائرة المغلقة من الحديد المطاوع حوالي ٨٣%

(ii) كفاءة المحول بعد رفع القضيب العلوي ٣٠%

(iii) كفاءة المحول بدون قلب مطاوع مــع وضــع الملفــين فــوق بعــض ٠,٠٤%

المراجع

م. الدوائر الكهربائية

تأليف: جوزيف أدمنستر.

محمود ناهضي

٢ - الدوائر الكهربائية

تأليف: م. دعاء سعد سعيد الخطيب

م. هلا أحمد جابر

مع تمنياتي لكم بالتوفيق والنجاح

د/ سعود بن حميد اللحياني